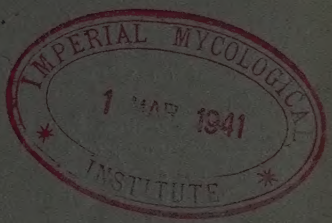
COMPTES RENDUS
(DOKLADY)
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

NOUVELLE SÉRIE

1940



VOLUME XXVIII

№ 8

ÉDITION DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS
MOSCOU

AVIS AUX AUTEURS

Les «Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS» paraissent tous les dix jurs. Chaque numéro a 96 pages en moyenne. Neuf numéros composent un volume pourvu d'une table des matières. Il y a quatre volumes par année.

Les «Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de l'URSS» en de courtes communications précisent l'essentiel des travaux en préparation. Ces articles, ne dépassant pas en règle générale quatre pages, sont donnée en l'une des trois langues: française, anglaise ou allemande. Ils embrassent les sciences mathématiques, physiques, naturelles et appliquées, mettant au jour les résultats de recherches scientifiques en cours ou qui viennent d'être achevées, et représentant ainsi les plus récentes données de l'investigation scientifique.

L'auteur a droit à 25 exemplaires de son article.

Adressez les manuscrits à la Rédaction des «Comptes Rendus», Moscou 19, Volkhonka 18, chambre 15.

20 Septembre

COMPTES RENDUS

(DOKLADY)

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'URSS

COMITÉ DE RÉDACTION

A. Borissiak, de l'Académie, **A. Fersman,** de l'Académie, **A. Frumkin,** de l'Académie, **A. Kolmogoroff,** de l'Académie, **A. Richter,** de l'Académie, **S. Wawilow,** de l'Académie.

NOUVELLE SÉRIE

8-me année

Paraissant tous les dix jours

1940

VOLUME XXVIII, № 8

TABLE DES MATIÈRES

Pages

MATHÉMATIQUES

Ludmila Keldych (Людмила Келдыш). Démonstration directe du théorème sur l'appartenance d'un élément canonique E_α à la classe α et exemples arithmétiques d'ensembles mesurables B de classes supérieures 675

M. G. Khaplanov (М. Г. Хапланов). Sur les coefficients de Taylor d'une classe de fonctions méromorphes 678

HYDRODYNAMIQUE

E. M. Minsky (Е. М. Минский). Statistische Bestimmung des Mischungsweges in einer turbulenten Strömung 684

AÉRODYNAMIQUE

V. A. Konstantinov (В. А. Константинов). Über helikoidale Wirbel in Anwendung zur aerodynamischen Berechnung der Luftschrauben und Windkraftmaschinen 688

PHYSIQUE

A. K. Krassin (А. К. Красин). Der elektrische Durchschlag fester Dielektrika 694

V. A. Yastrebov (В. А. Ястребов). Influence of Temperature upon Light-Sums and Decay of CaSBi-Phosphor 697

PHYSIQUE TECHNIQUE

I. I. Breido und G. N. Gorochowsky (И. И. Брейдо и Ю. Н. Гороховский). Die energetische spektrale Empfindlichkeit photographischer Schichten im ultravioletten Teil des Spektrums 702

CHIMIE

V. S. Altschuler et Z. F. Tchoukhanoff, membre correspondant de l'Académie **(В. С. Альтшуллер и З. Ф. Чуханов).** La cinétique de la réaction de réduction de l'acide carbonique par carbone 706

P. P. Budnikow, korrespondierendes Mitglied der Akademie, und **W. K. Guzew (П. П. Будников и В. К. Гузев).** Aktivierung saurer Hochofenschlacken und Darstellung klinkerlosen Zements 711

PHYSIQUE CHIMIQUE

A. F. Belayev (А. Ф. Беляев). On the Conditions Governing Steady Burning of Explosive Substances 714

GÉOCHIMIE

D. I. Eristavi (Д. И. Эристави). A Physical-Chemical Study of the Properties of the Manganese Slime Carried off by the Kviril River 718

BIOCHIMIE

Tadeusz Baranowski (Тадеуш Барановский). Über die Kristallisation von Albumin aus Kaninchen- und Menschenserum 722

Ludwik Chrobak und **Tadeusz Baranowski (Людвиг Хробак и Тадеуш Барановский).** Über verschiedene hexagonale Kristalle des A-Myogens aus Kaninchenmuskulatur 724

GÉOLOGIE

O. S. Vialov (О. С. Вялов). A Brief Description of the Balkhansk Bay Islands 726

A. N. Ponomarev and **G. A. Maximovich (А. Н. Пономарев и Г. А. Максимович).** On the Influence of Exposure on the Weathering of Gypsum and Limestones 730

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

S. M. Ivanov (С. М. Иванов). Frost-Resistance of Citrus Plants as Controlled by Daylength 736

A. M. Lewin (А. М. Левин). Über die Ernährung des Sommerweizens *Melanopus* 069 mit Mineralstoffen durch die Blätter 739

PHYSIOLOGIE DES ANIMAUX

N. S. Stroganow (Н. С. Строганов). Physiologische Adaptation und Gasaustausch bei Fischen 743

MORPHOLOGIE EXPÉRIMENTALE

V. N. Orekhovich and **T. P. Sokolova (В. Н. Орехович и Т. П. Соколова).** On the Variability of Tissue Proteins in the Course of Regeneration of Organs in Amphibia 747

A. G. Lapchinsky and **A. A. Malinovsky (А. А. Лапчинский и А. А. Малиновский).** An Attempt at Experimental Homoplastic Transplantation of Teeth in the Dog 750

K. J. Syngajevskaya (Е. И. Сингаевская). Zur Frage nach der Determination der Haftfaden bei Amphibien 754

B. I. Balinsky (Б. И. Балинский). Die Verhältnisse zwischen verschiedenen Typen von Korrelationen in der Entwiklung der ektodermalen Mundeinstülpung bei den Amphibien 757

MORPHOLOGIE ÉVOLUTIONNAIRE

A. Machotin (А. Махотин). Zu der Erscheinungen der Reduktion in der Morphologie der Imagines des grossen Frastspanners (*Erannis defoliaria* Cl.) 760

PALÉONTOLOGIE

N. Yakovlev (Н. Яковлев), membre correspondant de l'Académie. Le cystidé *Corylocrinus* et la subdivision du Silurien inférieur de l'Oural 764

D. V. Obruchev (Д. В. Обручев). On Some Psammosteids from the Leningrad and Baltic Middle Devonian 766

Rédacteur en chef A. Fersman. Rédacteur S. Bernstein

En composition 20/VIII 1940. En impression 16/X 1940. Nombre de feuilles d'impression 6. Nombre de caractères par feuille d'impression 65.000. Pages 672—768. Format du papier 72×100 cm. Tirage 840. A 30629. Numéro d'édition 2161. Numéro typographique 1516.

Imprimerie № 16 Moskou. Trekhproudnij péreoulok. 9.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

MATHÉMATIQUES

DÉMONSTRATION DIRECTE DU THÉORÈME SUR L'APPARTENANCE D'UN ÉLÉMENT CANONIQUE E_α À LA CLASSE α ET EXEMPLES ARITHMÉTIQUES D'ENSEMBLES MESURABLES B DE CLASSES SUPÉRIEURES

Par LUDMILA KELDYCH

(Présenté par A. N. Kolmogoroff, de l'Académie, le 3. VII. 1940)

Nous avons démontré dans ([3]) l'existence des éléments canoniques dans chaque classe d'ensembles mesurables B. Mais, pour montrer que l'élément construit E_α est rigoureusement un *él*α, nous avons démontré que E_α est un élément linéaire universel; donc, nous nous sommes appuyés sur le théorème d'existence d'ensembles mesurables B de classe quelconque. Maintenant nous allons donner une démonstration directe, beaucoup plus simple, du théorème sur l'appartenance de E_α à la classe α.

Rappelons, que nous définissons un *él*α au moyen d'un A-système d'ensembles fermés, obtenu à partir d'un A-système C_3 définissant un $F_{\sigma\delta}$, au moyen d'un procédé transfini ([2]). Chaque chaîne de C_3 définit un et un seul point de $F_{\sigma\delta}$.

Lemme. *Chaque él*α *peut être défini au moyen d'un A-système* C'_α *transfiniment équivalent à un A-système donné arbitraire d'indice* α.

Nous démontrons ce lemme en appliquant la méthode de récurrence transfinie. En s'appuyant sur ce lemme on démontre sans difficulté le

Théorème. *L'élément canonique* E_α *est rigoureusement un él*α.

Soit E_α un *él*α canonique et CE_α — son complémentaire par rapport à sa fermeture P dans l'espace de Baire. E_α est défini au moyen d'un A-système canonique C_α formé d'ensembles parfaits. Supposons, que E_α n'est pas rigoureusement un *él*α. Alors E_α et CE_α sont des *él*α ([2]). En vertu de notre lemme CE_α peut être défini au moyen d'un A-système C'_α transfiniment équivalent à C_α. E_α est un ensemble de première cathégorie sur P. Donc CE_α est de seconde cathégorie sur P. Alors, parmi les éléments de C'_α il existe au moins un élément f_{n_1}, formant avec P une configuration de deux éléments, et contenant une portion de P. C_α étant canonique, cette portion contient un élément p_{m_1} de C_α, formant avec P une configuration P, p_{m_1} équivalente à P, f_{n_1}. En raisonnant sur p_{m_1} de même manière que sur P, nous trouvons un élément f_{n_2} de C'_α, complétant la configuration P, f_{n_1} et contenant une portion de p_{m_1}. C_α étant canonique, nous trouvons dans cette portion un élément p_{m_2} complétant la configuration P, p_{m_1} de façon à obtenir une configuration équivalente à P, f_{n_1}, f_{n_2}.

En raisonnant de même manière une infinité de fois, nous obtenons deux suites d'éléments de systèmes C'_α et C_α:

$$P, f_{n_1}, f_{n_2}, \ldots, f_{n_k}, \ldots \quad (1)$$
$$P, p_{m_1}, p_{m_2}, \ldots, p_{m_k}, \ldots \quad (2)$$

On a évidemment: a) $p_{m_k} \subset f_{n_k}$ et b) quel que soit k, les k premiers éléments des deux suites forment des configurations équivalentes des systèmes C'_α et C_α. Les suites (1) et (2) sont des chaînes des A-systèmes générateurs C'_3 et C_3, et définissent, en vertu de a), un même point x, contenu dans E'_3 et E_3. CE_α étant le complémentaire de E_α, le point x est contenu dans l'un d'eux. Par suite, une des suites (1) et (2) contient une chaîne de A-système correspondant d'indice α, définissant x. Mais alors, en vertu de b), l'autre suite doit aussi contenir une chaîne définissant x, ce qui contredit à la condition $E_\alpha \cdot CE_\alpha = 0$. Donc, en supposant que CE_α est un *él*α, nous obtenons une contradiction, et par suite E_α est rigoureusement un *él*α, c. q. f. d.

Le théorème bien connu d'existence d'ensembles mesurables B de classe quelconque suit immédiatement du théorème démontré. En donnant la méthode de construction de l'élément canonique de classe α quelconque, nous employons en général l'axiome de Zermelo. Par suite, la démonstration donnée ici d'existence d'ensembles mesurables B de classe quelconque est en général basée sur l'axiome de Zermelo. Mais pour chaque nombre transfini α *effectivement donné* notre démonstration devient constructive.

Nous disons, qu'un nombre transfini de seconde classe est *effectivement donné*, si quel que soit le nombre $\beta \leqslant \alpha$ de seconde espèce, le choix d'une suite fondamentale de nombres transfinis convergente vers β est effectué.

Pour chaque nombre transfini α effectivement donné l'existence de la construction d'un *él*α canonique permet de construire des exemples arithmétiques d'*él*α. Montrons la méthode de construction de tels exemples. Nous partons de l'exemple arithmétique E_3 d'un *él* 3, construit par Baire([1]).

$$E_3 = \prod_{k=1}^{\infty} \sum_{n_1, n_2, \ldots, n_k} p_{n_1 n_2 \ldots n_k}.$$

E_3 est l'ensemble de tous les points x, qui correspondent aux fractions continues $(a_1, a_2, \ldots, a_n, \ldots)$ ayant des quotients incomplets a_n tendant vers ∞.

E_3 est un *él* 3 canonique, et $C_3 = \{p_{n_1 n_2 \ldots n_k}\}$ est le A-système canonique qui le définit; $p_{n_1 \ldots n_k}$ est l'ensemble de tous les points x qui correspondent aux fractions continues ayant n_1 quotients incomplets égaux à 1, n_2 égaux à 2, ... n_k égaux à k; $p_{n_1 \ldots n_k}$ est la différence de deux ensembles parfaits. On peut considérer chaque $p_{n_1 \ldots n_k}$ comme une somme d'éléments de C_3; $p_{n_1 \ldots n_{k-1} n_k}$ est non dense sur $p_{n_1 \ldots n_{k-1}}$.

Il est facile de démontrer que: *quel que soit la suite infinie de nombres entiers* $n_k^1, n_k^2, \ldots, n_k^s, \ldots$ *l'ensemble* $\mathfrak{G} = \sum_s p_{n_1 \ldots n_{k-1} n_k^s}$ *est partout dense sur* $p_{n_1 \ldots n_{k-1}}$.

Soit maintenant α un nombre transfini effectivement donné, et soient déja construits au moyen de notre procédé des exemples arithmétiques d'ensembles de chaque classe $\beta < \alpha$. Chaque élément E_β est défini au moyen d'un A-système C_β subordonné à C_3.

1) α est de première espèce. Alors on a déjà construit l'élément $E_{\alpha-1}$ défini au moyen d'un A-système $C_{\alpha-1}$. Nous considérons successivement les configurations contenant 1, 2, ..., k éléments. Soit p_{n_1}, $p_{n_1 n_2}, \ldots, p_{n_1 \ldots n_{k-1}}$ une configuration de $C_{\alpha-1, k-1}$ ([3]) et $\sum_{s=1}^{\infty} p_{n_1 \ldots n_{k-1} n_k^s}$ — la somme de tous les éléments complétant cette configuration de façon à

obtenir des configurations équivalentes à une configuration définie. D'après la construction générale donnée dans (3), cette somme doit être décomposée en $i+1$ sommes (i étant le rang de chaque $p_{n_1 \ldots n_{k-1} n_k^s}$ dans $C_{\alpha-1,k-1}$), chaque somme étant partout dense sur $p_{n_1 \ldots n_{k-1}}$. Mais, en vertu de la remarque faite plus haut, chaque partie de notre somme, contenant une infinité de termes est partout dense sur $p_{n_1 \ldots n_{k-1}}$. Décomposons notre somme de manière suivante:

$$\sum_{s=1}^{\infty} p_{n_1 \ldots n_{k-1} n_k^s} = \sum_{s \equiv 1 (i+1)} + \ldots + \sum_{s \equiv i (i+1)} + \sum_{s \equiv 0 (i+1)} .$$

Nous déplaçons les éléments de la l-ième somme, $l \leqslant i$, dans le rang l et nous enlevons les éléments de la dernière somme. En décomposant les sommes de cette manière et en suivant la construction générale, nous obtenons un exemple E_α d'un *él*α.

2) α est de seconde espèce. α étant éffectivement donné, on a une suite fondamentale convergeant vers α

$$\alpha_1 < \alpha_2 < \ldots < \alpha_n < \ldots \to \alpha.$$

Pour chaque α_n un exemple E_{α_n} d'un *él*α_n est déjà construit. E_{α_n} est défini au moyen d'un A-système C_{α_n} subordonné à $C_{\alpha_{n-1}}$ [ce qui est toujours possible (3)]. Donc, $E_\alpha = \prod_{n=1}^{\infty} E_{\alpha_n}$. Le A-système C_α définissant E_α est bien défini à partir des A-systèmes C_{α_n}, $n = 1, 2, \ldots, \infty$.

Nous avons, donc, donné un moyen pour construire des exemples d'ensembles mesurables B de classe α, α étant effectivement donné. Pour caractériser les propriétés arithmétiques des points de E_α, il reste à faire les calculs. Mais ces derniers peuvent être très compliqués. Voici des exemples d'éléments de classes $\leqslant \omega$ (en construisant ces exemples, nous avons employé un mode de décomposition de sommes différant de celui qui a été donné plus haut, plus commode pour les calculs).

Notre élément E_n de classe n ($n > 3$ est fini) est l'ensemble de tous les points $x = \{a_1, a_2, \ldots, a_n, \ldots\}$ tels que:

1) les quotients incomplets tendent vers ∞,

2) il existent pour chaque x $n-2$ suites croissantes de valeurs des quotients incomplets:

$$\begin{aligned} a_{31} &< a_{32} < \ldots < a_{3m} < \ldots \\ a_{41} &< a_{42} < \ldots < a_{4m} < \ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{n1} &< a_{n2} < \ldots < a_{nm} < \ldots \end{aligned}$$

la première suite contient toutes les valeurs des quotients incomplets de x. Chaque suite suivante est une partie de la précédente, et les nombres $n_{a_{li}}$ ($n_{a_{li}}$ est le nombre de fois, que la valeur a_{li} figure parmi les quotients incomplets de x) vérifient les congruences:

$$n_{a_{li}} \not\equiv 0 (p_{l-3}^i); \quad n_{a_{l-1,j}} \equiv 0 (p_{l-3}^i)$$

pour chaque $a_{l-1,j} > a_{li}$, p_{l-3} étant le $l-3$)-ième nombre premier. Enfin

$$E_\omega = \prod_{n=3}^{\infty} E_n.$$

Manuscrit reçu
le 28. VI. 1940.

LITTÉRATURE CITÉE

[1] Acta Math., 32 (1909). [2] Lusin, Leçons sur les ensembles anal. (1930).
[3] L. Keldych, C. R. Acad. Sci. URSS, XXVI, 531 (1940).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

MATHÉMATIQUES

SUR LES COEFFICIENTS DE TAYLOR D'UNE CLASSE DE FONCTIONS MÉROMORPHES

Par M. G. KHAPLANOV

(Présenté par S. N. Bernstein, de l'Académie, le 7. VI. 1940)

1. Soit

$$\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n, \ldots$$

une suite de nombres complexes, dont les parties réelles tendent vers $+\infty$. Posons

$$\lambda_n = \alpha_n + i\beta_n = r_n e^{i\varphi_n}.$$

Pour toute valeur de n menons par un point a du plan une droite perpendiculaire à la direction $-\varphi_n$. Désignons par L_{φ_n} le demi-plan, limité par cette droite et contenant les points de l'axe réel d'abscisses positives aussi grandes que l'on veut.

Nous aurons à considérer dans la suite un angle G_α dont le sommet se trouve au point a et qui contient les points, chacun desquels appartient à tous les demi-plans L_{φ_n}, à partir d'une valeur suffisamment grande de n. Si cet angle n'est pas nul, nous désignerons par G'_α un angle de même sommet et dont les côtés sont intérieurs à G_a. Si l'on désigne par ξ_0, η_0 les coordonnées du point a et par ξ, η celles d'un point variable ζ du plan, on voit que la condition nécessaire et suffisante pour que le point ζ appartienne à l'angle G_a, est exprimée par l'inégalité

$$-\alpha_n\xi + \beta_n\eta \leqslant -\alpha_n\xi_0 + \beta_n\eta_0 \qquad (1)$$

qui doit être vérifiée pour toutes les valeurs de n à partir d'une valeur suffisamment grande $n_0(\xi, \eta)$: $n > n_0(\xi, \eta)$. En effet, cela résulte de ce fait, que l'inégalité (1) a lieu, n étant fixé, pour les points du demi-plan L_{φ_n} seulement.

Par exemple: 1) Si $\lim\limits_{n\to\infty} \varphi_n = \varphi$, alors l'angle G_a coïncide avec le demi-plan L_φ. 2) Si les limites supérieure et inférieure de φ_n sont respectivement φ et ψ, $-\frac{\pi}{2} \leqslant \varphi \leqslant \frac{\pi}{2}$, $-\frac{\pi}{2} \leqslant \psi \leqslant \frac{\pi}{2}$, alors G_a coïncide avec la partie commune des deux demi-plans L_φ et L_ψ.

2. Lemme. *Si une série de Dirichlet*

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\lambda_n \zeta} \qquad (2)$$

est absolument convergente au point a, elle est aussi absolument convergente à l'intérieur de l'angle G_a et, de plus, uniformément convergente dans tout angle G'_a.

Par hypothèse, la série

$$\sum_{n=1}^{\infty} |a_n| e^{-\alpha_n \xi_0 + \beta_n \eta_0}$$

est convergente. Donc, la série de Dirichlet (2) converge absolument aux points ζ, pour lesquels, à partir d'une valeur suffisamment grande de n, l'inégalité

$$-\alpha_n \xi + \beta_n \eta \leqslant -\alpha_n \xi_0 + \beta_n \eta_0$$

est vérifiée; et cela a lieu à l'intérieur de l'angle G_a. La convergence uniforme à l'intérieur de G'_a est immédiate.

Il résulte du lemme démontré, que la fonction, définie par la série de Dirichlet (2), est holomorphe à l'intérieur de l'angle G_a.

3. Considérons une fonction $f(z)$, définie par un développement de la forme

$$f(z) = P_0(z) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{a_k}{(z-\alpha_k)^p} + \frac{b_k}{(z-\alpha_k)^{p-1}} + \ \dots \ + \frac{l_k}{z-\alpha_k} + P_k(z) \right] \qquad (3)$$

où les $P_k(z)$, $k = 0, 1, 2, \dots$ sont des polynômes.

Pour obtenir un développement de cette fonction en série potentielle à l'origine, remarquons que

$$\frac{1}{z-\alpha_k} = -\frac{1}{\alpha_k} - \frac{z}{\alpha_k^2} - \ \dots \ - \frac{z^{n-1}}{\alpha_k^n} + \frac{1}{\alpha_k^n} \cdot \frac{z^n}{z-\alpha_k}$$

$$\frac{1}{(z-\alpha_k)^2} = \frac{1}{\alpha_k^2} + \frac{2z}{\alpha_k^3} + \ \dots \ + \frac{nz^{n-1}}{\alpha_k^{n+1}} - \frac{1}{\alpha_k^{n+1}} \cdot \frac{d}{dz} \frac{z^{n+1}}{z-\alpha_k}$$

. . . . . .

$$\frac{1}{(z-\alpha_k)^p} = (-1)^p \left[\frac{1}{\alpha_k^p} + \frac{pz}{\alpha_k^{p+1}} + \ \dots \ + \frac{\binom{n+p-2}{p-1} z^{n-1}}{\alpha_k^{n+p-1}} - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\alpha_k^{n+p-1}} \cdot \frac{d^{p-1}}{dz^{p-1}} \frac{z^{n+p-1}}{z-\alpha_k} \right].$$

En posant

$$P_k(z) = (-1)^{p-1} a_k \left(\frac{1}{\alpha_k^p} + \ \dots \ + \frac{\binom{n+p-2}{p-1} z^{n-1}}{\alpha_k^{n+p-1}} \right) + \ \dots$$

$$\dots + l_k \left(\frac{1}{\alpha_k} + \ \dots \ + \frac{z^{n-1}}{\alpha_k^n} \right)$$

nous obtenons

$$f(z) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[(-1)^{p-1} \frac{a_k}{\alpha_k^{n+p-1}} \cdot \frac{d^{p-1}}{dz^{p-1}} \frac{z^{n+p-1}}{z-\alpha_k} + \ \dots \ + \frac{l_k}{\alpha_k^n} \cdot \frac{z^n}{z-\alpha_k} \right]. \qquad (4)$$

Si les séries

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{|a_k|}{|\alpha_k|^{n+p}}, \ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|b_k|}{|\alpha_k|^{n+p-1}}, \ \dots, \ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|l_k|}{|\alpha_k|^{n+1}} \qquad (5)$$

sont convergentes pour un entier $n = \nu$, alors en posant dans (4) $n = \nu$ et en remarquant que pour p, ν et z finis et pour α_k tendant vers ∞ les modules des facteurs $\frac{d^j}{dz^j} \frac{z^{\nu+j}}{z-\alpha_k}$ sont pour $k \to \infty$ de l'ordre de $\frac{1}{|\alpha_k|}$,

nous voyons que la série (4) converge uniformément dans tout domaine fini, les voisinages des points α_k en étant exclus, et y définit une fonction méromorphe.

Convenons d'appeler fonction méromorphe au développement canonique d'ordre fini (ν, p) toute fonction méromorphe, admettant un développement de la forme (3), à condition que les séries (5) soient convergentes.

4. Théorème. *Les coefficients du développement en série potentielle d'une fonction méromorphe au développement canonique d'ordre fini peuvent, à partir d'un indice suffisamment grand, être considérés comme valeurs pour $\zeta = n$ d'une fonction holomorphe dans un demi-plan*

$$\varphi(\zeta) = \zeta^{p-1}\omega_1(\zeta) + \zeta^{p-2}\omega_2(\zeta) + \ \dots\ + \omega_p(\zeta) \tag{6}$$

où p est l'ordre le plus élevé des pôles et

$$\omega_1(\zeta),\ \omega_2(\zeta),\ \dots,\ \omega_p(\zeta)$$

sont des fonctions représentables par des séries de Dirichlet aux exposants complexes.

Il est évident qu'il suffit pour la démonstration de considérer le développement de la fonction méromorphe à l'origine, en supposant que l'origine n'est pas un pôle de la fonction considérée.

Développons tous les termes $\frac{1}{(z-\alpha_k)^q}$ de la formule (3) suivant les puissances positives de z. En tenant compte des expressions pour les polynômes $P_k(z)$, nous obtiendrons un développement en série potentielle de la fonction $f(z)$ à l'origine:

$$f(z) = P_0(z) + \sum_{k=1}^{\infty}\Bigg[(-1)^p a_k \sum_{n=\nu}^{\infty} \frac{\binom{n+p-1}{p-1} z^n}{\alpha_k^{n+p}} + \\ + (-1)^{p-1} b_k \sum_{n=\nu}^{\infty} \frac{\binom{n+p-2}{p-2} z^n}{\alpha_k^{n+p-1}} + \ \dots\ - l_k \sum_{n=\nu}^{\infty} \frac{z^n}{\alpha_k^{n+1}}\Bigg] \tag{7}$$

cette série étant convergente dans le cercle de rayon égal à la distance de l'origine au pôle le plus rapproché. Les séries doubles obtenues convergent absolument à l'intérieur de ce cercle. Par exemple, la série

$$\sum_{k=1}^{\infty} |l_k| \sum_{n=\nu}^{\infty} \frac{|z|^n}{|\alpha_k|^{n+1}}$$

converge, puisqu'en faisant d'abord sommation en n nous obtenons

$$\sum_{k=1}^{\infty} |l_k| \sum_{n=\nu}^{\infty} \frac{|z|^n}{|\alpha_k|^{n+1}} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{|l_k| \cdot |z|^{\nu}}{|\alpha_k|^{\nu+1}\left(1 - \left|\frac{z}{\alpha_k}\right|\right)}.$$

Et la dernière série est convergente en vertu des conditions (5). En invertissant dans l'égalité (7) l'ordre des sommations des séries doubles, nous obtenons

$$f(z) = P_0(z) + \sum_{n=\nu}^{\infty} z^n \Bigg[(-1)^p \binom{n+p-1}{p-1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_k}{\alpha_k^{n+p}} + \\ + (-1)^{p-1} \binom{n+p-2}{p-2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{b_k}{\alpha_k^{n+p-1}} + \dots - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{l_k}{\alpha_k^{n+1}}\Bigg] \tag{8}$$

En posant

$$\overline{\omega}_1(\zeta)=\sum_{k=1}^{\infty} a_k e^{-\zeta \log \alpha_k},\ \overline{\omega}_2(\zeta)=\sum_{k=1}^{\infty} b_k e^{-\zeta \log \alpha_k},\ \ldots$$

$$\ldots,\ \overline{\omega}_p(\zeta)=\sum_{k=1}^{\infty} l_k e^{-\zeta \log \alpha_k} \qquad (9)$$

nous voyons que les coefficients du développement (8), à partir d'un indice suffisamment grand, peuvent être considérés comme valeurs, pour $\zeta=n$, de la fonction

$$\varphi(\zeta)=(-1)^p \frac{(\zeta+p-1)\ldots(\zeta+1)}{(p-1)!}\overline{\omega}_1(\zeta+p)+$$

$$+(-1)^{p-1}\frac{(\zeta+p-2)\ldots(\zeta+1)}{(p-2)!}\overline{\omega}_2(\zeta+p-1)+\ \ldots\ -\overline{\omega}_p(\zeta+1). \qquad (10)$$

Les fonctions $\overline{\omega}_k(\zeta)$ sont définies par des séries de Dirichlet (9) aux coefficients complexes

$$\lambda_n=\log \alpha_k=\log|\alpha_k|+i \arg \alpha_k.$$

Or, nous avons

$$\varphi_n=\arg \lambda_n=\operatorname{arctg}\frac{\arg \alpha_k}{\log|\alpha_k|}\longrightarrow 0$$

donc, les domaines de convergence des séries en question sont des demi-plans. L'existence de ces domaines de convergence résulte de la convergence des séries (5) en vertu de lemme du § 2.

En transformant l'expression (10) de la fonction $\varphi(\zeta)$ nous obtenons une expression de la forme (6).

Par exemple, il résulte du théorème démontré, que les coefficients des développements en série potentielle, aux voisinages de points réguliers, de la fonction $\zeta(z)$ de Weierstrass peuvent être considérés comme valeurs, pour $\zeta=n$, d'une fonction $\omega(\zeta)$, holomorphe dans un demi-plan et représentable par une série de Dirichlet. De même, les coefficients des développements potentiels de la fonction elliptique $\gamma(z)$ peuvent être considérés comme valeurs, pour $\zeta=n$, d'une fonction $\varphi(\zeta)=\zeta\omega_1(\zeta)+$ $+\omega_2(\zeta)$ holomorphe dans un demi-plan, les fonctions $\omega_1(\zeta)$ et $\omega_2(\zeta)$ étant représentables par des séries de Dirichlet.

Remarque. Les coefficients du développement en série potentielle d'une fonction au voisinage d'un point régulier arbitraire z_0 sont des valeurs, pour $\zeta=n$, d'une fonction semblable à la fonction (6) $\varphi(\zeta)$, et que l'on obtient en remplaçant dans les expressions (9) $\log \alpha_k$ par $\log(\alpha_k-z_0)$. D'une façon analogue on peut obtenir une fonction dont les valeurs, pour $\zeta=n$, coïncident avec les coefficients de la partie régulière du développement de la fonction $f(z)$ au voisinage du pôle α_k.

5. Théorème. *Soit $f(z)$ une fonction définie par un développement en série potentielle, dont les coefficients, à partir d'un indice suffisamment grand, sont des valeurs, pour $\zeta=n$, de la fonction* (6)

$$\varphi(\zeta)=\zeta^{p-1}\omega_1(\zeta)+\zeta^{p-2}\omega_2(\zeta)+\ \ldots\ +\omega_p(\zeta)$$

où

$$\omega_1(\zeta),\ \omega_2(\zeta),\ \ldots,\ \omega_p(\zeta)$$

sont des séries de Dirichlet aux exposants complexes

$$\lambda_1,\ \lambda_2,\ \ldots,\ \lambda_n,\ \ldots$$

les parties réelles desquels tendent vers $+\infty$. Supposons que ces séries

admettent des domaines de convergence absolue. Ces conditions étant remplies, $f(z)$ est une fonction méromorphe; ses pôles sont aux points

$$e^{\lambda_1}, e^{\lambda_2}, \ldots, e^{\lambda_n}, \ldots$$

les ordres des pôles ne surpassant pas p.

Pour la démonstration, réduisons l'expression (6) de la fonction $\varphi(\zeta)$ à la forme (10). Il est évident qu'il suffit de démontrer le théorème pour le cas particulier quand

$$\varphi(\zeta) = (-1)^q \frac{(\zeta+q-1)\ldots(\zeta+1)}{(q-1)!}\,\overline{\omega}(\zeta+q) \tag{6'}$$

où

$$\overline{\omega}(\zeta) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k e^{-\lambda_k \zeta}. \tag{9'}$$

Supposons que les coefficients du développement en série entière de la fonction $f(z)$

$$f(z) = \sum_{n=1}^{\infty} d_n z^n$$

à partir d'un indice $n = \nu$, soient des valeurs, pour $\zeta = n$, de la fonction (6') $\varphi(\zeta)$: $d_n = \varphi(n)$, $n \geqslant \nu$, la série de Dirichlet (9') étant absolument convergente pour ces valeurs de n.

Posons

$$f(z) = f_1(z) + f_2(z)$$

où

$$f_1(z) = \sum_{n=0}^{\nu-1} d_n z^n; \qquad f_2(z) = \sum_{n=\nu}^{\infty} d_n z^n.$$

Dans l'expression de $f_2(z)$ remplaçons les d_n par leurs expressions à l'aide de $\varphi(n)$; nous obtenons

$$f_2(z) = \sum_{n=\nu}^{\infty} z^n \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^q \binom{n+q-1}{q-1} c_k e^{-\lambda_k (n-q)}. \tag{11}$$

La série

$$\sum_{k=1}^{\infty} |c_k| e^{-\alpha_k (n-q)}, \quad \alpha_k = R\lambda_k$$

est convergente pour $n \geqslant \nu$ par hypothèse, et sa somme est une fonction décroissante de n. Donc, pour $n \geqslant \nu$ nous avons:

$$\sum_{k=1}^{\infty} |c_k| e^{-\alpha_k (n+q)} < M.$$

Par conséquent, la somme de la série, formée des valeurs absolues des termes de la série double (11), est inférieure à

$$M \sum_{n=\nu}^{\infty} \binom{n+q-1}{q-1} |z|^n.$$

Cette dernière expression est bornée pour $|z| < 1$. Donc, la série double est absolument convergente à l'intérieur du cercle $|z| < 1$, et l'ordre des sommations y peut être inverti. Nous obtenons:

$$f_2(z) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \sum_{n=\nu}^{\infty} (-1)^q \binom{n+q-1}{q-1} e^{-\lambda_k (n+q)} z^n.$$

Puisque

$$\frac{1}{(z-e^{\lambda_k})^q} = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^q \binom{n+q-1}{q-1} e^{-\lambda_k (n+q)} z^n$$

nous aurons

$$\sum_{n=\nu}^{\infty} (-1)^q \binom{n+q-1}{q-1} e^{-\lambda_k (n+q)} z^n = \frac{1}{(z-e^{\lambda_k})^q} - \sum_{n=0}^{n-1} (-1)^q \binom{n+q-1}{q-1} e^{-\lambda_k (n+q)} z^n =$$

$$= (-1)^{q-1} e^{-\lambda_k (\nu+q-1)} \frac{d^{q-1}}{dz^{q-1}} \frac{z^{\nu+q-1}}{z-e^{\lambda_k}}.$$

Par conséquent

$$f(z) = f_1(z) + f_2(z) = f_1(z) + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{q-1} c_k e^{-\lambda_k (\nu+q-1)} \frac{d^{q-1}}{dz^{q-1}} \frac{z^{\nu+q-1}}{z-e^{\lambda_k}}. \quad (12)$$

L'égalité (12) est vérifiée à l'intérieur du cercle $|z| < 1$. Le second membre de cette égalité est une série de fonctions holomorphes uniformément convergente dans tout domaine fini, après avoir exclu de ce domaine les voisinages des points e^{λ_k} appartenant à ce domaine. En effet, le module du facteur

$$\frac{d^{q-1}}{dz^{q-1}} \frac{z^{q+\nu-1}}{z-e^{\lambda_k}}$$

est, pour $k \to \infty$, de l'ordre de e^{-a_k}. Par conséquent, les modules des termes de la série $f_2(z)$ sont inférieurs aux termes de la série

$$\sum_{k=1}^{\infty} |c_k| e^{-a_k (\nu+q)}$$

multipliés par un facteur constant.

Donc, $f_2(z)$ est une fonction méromorphe aux pôles de multiplicité q aux points

$$e^{\lambda_1}, e^{\lambda_2}, \ldots, e^{\lambda_k}, \ldots$$

Enfin, nous voyons que la fonction $f(z)$, qui ne diffère de $f_2(z)$ que par l'addition du polynôme $f_1(z)$, jouit de cette même propriété.

Institut Physico-Mathématique.
Molotov Université.
Rostov/Don.

Manuscrit reçu
le 22. VI. 1940.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

HYDRODYNAMIK

STATISTISCHE BESTIMMUNG DES MISCHUNGSWEGES IN EINER TURBULENTEN STRÖMUNG

Von E. M. MINSKY

(Vorgelegt von G. M. Krzhizhanovsky, Mitglied der Akademie, den 10. VII. 1940)

1. Eine wesentliche Rolle im Aufbau der neuzeitlichen halbempirischen Theorien der Turbulenz spielt die Bestimmung des sogenannten «Mischungsweges». Als «Mischungsweg» wird eine gewisse mittlere Querlänge bezeichnet, auf der die einzelnen sich im Strome verschiebenden Flüssigkeitsmengen ihre eigene Geschwindigkeit verlieren und die Geschwindigkeit des sie umgebenden Mediums annehmen. Andererseits ist in der statistischen Turbulenztheorie der Begriff der geometrischen Turbulenzcharakteristik (der Skala) eingeführt, die durch das Abklingen der Korrelationsbeziehung zwischen den Geschwindigkeiten in zwei vershiedenen Punkten bestimmt wird. In unserer Untersuchung haben wir den Versuch gemacht auf experimentalem Wege eine Beziehung für diese zwei geometrischen Masse festzulegen.

2. Es sollen zwei Punkte im Strome untersucht werden: M (mit den Koordinaten x, y, z) und M' (mit den Koordinaten x', y', z'). In jedem von diesen zwei Punkten nehmen die Geschwindigkeitsprojektionen verschiedene, von der Zeit abhängende, Werte u, v, w und u', v', w' an. Die Änderung der Geschwindigkeiten nach der Zeit ist in einem turbulenten Strome eine gelegentliche, die Verteilung aber der von ihnen angenommenen Werte stimmt mit dem Gesetze von Hauss überein. Deshalb kann man von einer Korrelationsbeziehung zwischen einer Reihe momentaner Geschwindigkeitswerte in dem einen und in dem anderen Punkte sprechen. Die Korrelationszahl, die bei Zusammenfallen beider Punkte gleich 1 ist, nimmt mit dem Wachsen des Abstandes zwischen den letzteren ab.

Nach dem Vorschlag von Taylor (1) wird die geometrische Charakteristik der Strömung durch das Integral der Korrelationszahl genommen längs der Geraden, die die beiden zu vergleichenden Punkte vereinigt, bestimmt, wobei sich der Abstand der letzteren vom Null bis zur Unendlichkeit verändert. Z. B., wenn die zu vergleichenden Punkte in der Ebene XY liegen, so ist:

$$L = \int_0^\infty R_n dy = \int_0^\infty \frac{\overline{n(0)\, n(y)}}{\sqrt{\overline{n^2(0)}}\sqrt{\overline{n^2(y)}}}\, dy. \qquad (1)$$

Hier ist n die Projektion der Turbulenzgeschwindigkeit auf eine beliebige Axe, wobei der Strich den mittleren Wert nach der Zeit bedeutet. Die Ermittlung findet nach dem Gesetz, welches den Bedingungen Reinolds genügt,

statt. Der Wert L, der die mittlere Entfernung, auf die sich die Korrelationsbeziehung zwischen der Geschwindigkeit im Punkte $y=0$ und den Geschwindigkeiten in anderen Punkten erstreckt, stellt durch dasselbe ein gewisses mittleres Mass der sich formierenden Flüssigkeitsmengen dar. So eine Definition ist für einen unbegrenzten Strom völlig anwendbar und wird beim Untersuchen der isotropen Turbulenz ausgenützt.

3. Im Falle einer durch Wände begrenzter Strömung, die längs der x-Axe gerichtet ist, ist die Formel (1) für die Korrelation in der zur Strömungsaxe senkrechter Richtung nicht anwendbar, weil die Korrelationszahl nicht in der Unendlichkeit, sondern mit der Annäherung an die feste Wandung gleich Null wird. Deshalb ist bei der Änderung von y oder z die Abklingungskurve der Korrelationszahl R_n für alle Werte von y und z unsymmetrisch, ausgenommen der auf der Stromaxe liegenden Punkte.

Für eine solche Strömung ist man gezwungen das Verfahren anzuwenden, das in der Arbeit der Sowietgelehrten Friedmann und Keller vorgeschlagen und schon im Jahre 1924 veröffentlicht wurde (²). Friedmann und Keller epmfehlen die Geschwindigkeiten in den Punkten untereinander zu korrelieren, die in bezug auf ein gewisses Zentrum symmetrisch sind. Es werden zugleich mit dem Grundpunkte M (mit den Koordinaten t, x, y, z) noch zwei andere Punkte: M' (mit den Koordinaten $t-\tau$, $x-\xi$, $y-\eta$, $z-\varsigma$) und M'' (mit den Koordinaten $t+\tau$, $x+\xi$, $y+\eta$, $z+\varsigma$) untersucht. Es werden die Korrelationszahlen für die den Punkten M' und M'' entsprechenden Geschwindigkeiten berechnet, wobei die Grössen $\tau, \xi, \eta, \varsigma$ die Verschiebung eines der Punkte in bezug auf den anderen nach Zeit und Raum bestimmen. Im Falle einer derartigen Wahl der zu vergleichenden Punkte, besitzt die Abklingungskurve bloss einen einzigen Zweig ($\tau, \xi, \eta, \varsigma > 0$) und die geometrischen Charakteristiken können unter Hilfe von Formeln in der Gestalt von

$$L_n = \int_0^\infty R_{nn}\, d\sigma = \int_0^\infty \frac{\overline{n(s-\sigma)\, n(s+\sigma)}}{\sqrt{\overline{n^2(s-\sigma)}}\sqrt{\overline{n^2(s+\sigma)}}}\, d\sigma \qquad (2)$$

bestimmt werden, wo s eine beliebige der Koordinaten t, x, y, z, σ—ein beliebiger der Koordinate s entsprechender Parameter, und n—die Geschwindigkeitsprojektion auf eine beliebige Axe sind.

4. Es sei insbesondere der Fall der gleichmässigen ebenen Bewegung längs der x-Axe zwischen zwei parallellen Wänden untersucht, die längs der Geraden $y=0$ und $y=2a$ gelagert sind.

Die Mittelgeschwindigkeit des Stromes ist eine Funktion der Querkoordinate y allein. Das Mischen der Flüssigkeit in der Querrichtung erzeugt das Entstehen einer fiktiven tangentiellen Spannung, deren Grösse dem mit dem umgekehrten Vorzeichen genommenen Produkte der Dichte des Wassers und des mittleren Wertes der Längs- und Querkomponenten der Turbulenzgeschwindigkeit gleich ist. In der Theorie von Prandtl wird es angenommen, dass die Querspannung dem Quadrat der Ableitung der Mittelgeschwindigkeit proportionell ist, wobei die Proportionalitätszahl dem Quadrat des «Mischungsweges» gleich ist. Diese Bedingung ermöglicht es den Wert des Mischungsweges nach den bekannten tangentieller Spannung und Verteilung der Mittelgeschwindigkeit zu berechnen. Eine derartige Berechnung wurde von Nikuradze (⁴) auf Grund zahlreicher Experimente durchgeführt.

Im Einvernehmen mit dem oben Angeführten ist es naturgemäss für die statistische Mischungswegesbestimmung die Formel (2) zu benutzen. Da dabei die Bewegung eine gleichmässige ist und die Mischung hauptsächlich in der Richtung der y-Axe stattfindet, so kann man sich mit dem Vergleichen der Punkte begnügen, die auf derselben Vertikalen ($\xi=0$) aber in verschiedenen Abständen von der Wandung (Veränderliche y und η) liegen. Ferner fällt

bei $\eta = y$ der Punkt M' mit der Strombegrenzung zusammen, und alle Geschwindigkeitsprojektionen werden in demselben zu Null; deshalb müssen die Korrelationszahlen zwischen den letzteren und den Geschwindigkeitsprojektionen in einem beliebigen anderen Punkte, die zufällige Werte annehmen, gleich Null gesetzt werden. Infolgedessen muss für die untere Stromhälfte ($y \leqslant a$) die obere Grenze der Integration in der Formel (2) gleich y gesetzt werden. Mit Rücksicht dass im Falle einer ebenen Bewegung zwei Geschwindigkeitsprojektionen u und v vorhanden sind, kann man zwei geometrische Masse

$$l_u = \int_0^y \frac{\overline{u(y-\eta)\,u(y+\eta)}}{\sqrt{\overline{u^2(y-\eta)}}\sqrt{\overline{u^2(y+\eta)}}}\,d\eta$$

und

$$l_v = \int_0^y \frac{\overline{v(y-\eta)\,v(y+\eta)}}{\sqrt{\overline{v^2(y-\eta)}}\sqrt{\overline{v^2(y+\eta)}}}\,d\eta$$

bestimmen.

Die Korrelationszahlen, die unter dem Zeichen des Integrals in der Formel (3) stehen, sind gleich 1 für $\eta = 0$ und werden zu Null für $\eta = y$. Es kann vo-

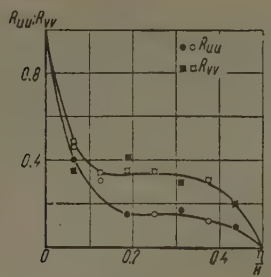


Abb. 1.

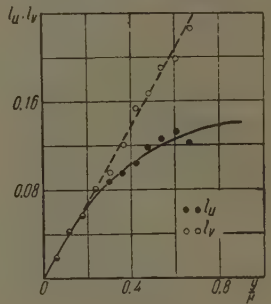


Abb. 2.

rausgesetzt werden, dass die Korrelationszahl zwischen den Quergeschwindigkeiten v etwas grössere Werte als zwischen den Längsgeschwindigkeiten u annimmt, da in einem derartigen Falle die zu vergleichenden Punkte auf einer Geraden liegen, die längs der zu korrelierenden Geschwindigkeitsprojektion gerichtet ist. Dieser Satz ist für den Fall einer isotropen Turbulenz ([3]) bewiesen, im Falle aber einer unisotropen Turbulenz kann er durch Analogie vorausgesetzt werden. Somit ist es zu erwarten, dass das Mass l_v grösser als das Mass l_u sein muss.

5. Die experimentale Prüfung der obigen Überlegungen wurde von uns bei der Untersuchung der Bewegung in einem geraden offenen Gerinne eines rechteckigen Querschnitts ausgeführt. Die Turbulenzgeschwindigkeiten wurden unter Beihilfe der Bearbeitung eines Kinofilmes gemessen, der die Bewegung der im Wasser aufgetriebenen Emulsionskugelchen wiedergibt, deren spezifisches Gewicht sich von demjenigen des Wassers nicht unterschied. Die Beschreibung des Gerinnes und das Prinzip des Messverfahrens wurden von uns früher veröffentlicht ([5]). In Abb. 1 ist eine Änderung der Korrelationszahlen R_{uu} und R_{vv} in Abhängigkeit von η bei $y = 0.5H$ angegeben, wo H die Tiefe des Gerinnes ist.

In der graphischen Darstellung sind die unmittelbar gemessenen Werte der Korrelationszahlen (schwarze Punkte) und die unter Beihilfe eines speziellen Interpolationverfahrens erhaltenen Werte (weisse Punkte) aufgetragen.

Wie man sieht, wird die oben geäusserte Behauptung über das Überragen der Korrelationszahl zwischen den Quergeschwindigkeiten der entsprechenden Zahl für Längsgeschwindigkeiten auf experimentale Weise bestätigt. Es ist selbstverständlich, dass diese Differenz mit der Steigung der Verschiebung η zunimmt.

In Abb. 2 ist die Änderung der geometrischen Charakteristiken l_u und l_v dargestellt, die unter Beihilfte der graphischen Integration der in Abb. 1 gezeigten beispielsweise Kurven berechnet sind. In der graphischen Darstellung ist durch eine dichte Kurve die Änderung des Mischungsweges nach der bekannten empirischen Formel von Nikuradze

$$\frac{l}{H}=0.14-0.08\left(1-\frac{y}{H}\right)^2-0.06\left(1-\frac{y}{H}\right)^4 \qquad (4)$$

aufgetragen.

Die dem l_u entsprechenden (schwarzen) Punkte fallen ausgezeichnet mit Nikuradze's Kurve zusammen; andererseits, liegen die dem l_v entsprechenden Punkte etwas höher und sind mit einem hohen Zuverlässigkeitsgrad längs der Geraden $\frac{l_v}{H}=\varkappa y$ gelagert.

Das Gefälle dieser Geraden, errechnet nach dem Verfahren der kleinsten Quadraten, ist $\varkappa=0.36$, was nahe liegt dem Werte, der gewöhnlich nach der Verteilung der Geschwindigkeiten und nach der Widerstandsgrösse erhalten wird.

Leider ist die Möglichkeit der Berechnung von R_{uu} und R_{vv} durch den Umstand, dass die Versuche in einem Gerinne mit einer freien Oberfläche ausgeführt wurden, lediglich für $y\leqslant 0.5\ H$ beschränkt. Einige ergänzende Punkte wurden von uns unter Hilfe einer speziellen Extrapolation der Kurven R_{uu} und R_{vv} ermittelt.

Somit ist auf experimentale Weise festgelegt, dass der Mischungsweg, laut der Formel von Prandt-Nikuradze ermittelt, nach der Grösse der Reibungsspannung und des Gradienten der Mittelgeschwindigkeit mit der geometrischen Charakteristik l_u, die durch die Formel (2) angegeben ist übereinstimmt. Es wäre wünschenswert diese wichtige Folgerung auch noch durch andere Experimente und besonders durch Experimente in der Strömung durch ein Rohr zu bestätigen.

Institut für Energetik.
Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

Eingegangen
den 11. VII. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] G. J. Taylor, Proc. Roy. Soc. A. 151 (1935). [2] L. Keller und A. Friedmann, Proc. I Intern. Congr. Appl. Mech., Delft (1924). [3] T. v. Karman and Howarth, Proc. Roy. Soc. A, 164 (1938). [4] «Аэродинамика» под ред. проф. Дюрэнд, IV, 164 (1939). [5] Е. М. Минский и Б. А. Фидман, Изв. энергетич. ин-та Акад. Наук, № 9 (1940).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

AERODYNAMIK

ÜBER HELIKOIDALE WIRBEL IN ANWENDUNG ZUR AERODYNAMISCHEN BERECHNUNG DER LUFTSCHRAUBEN UND WINDKRAFTMASCHINEN

Von V. A. KONSTANTINOV

(Vorgelegt von N. E. Kotchin, Mitglied der Akademie, den 14. VI. 1940)

Die Komponenten der Geschwindigkeit, die durch ein System der von Schaufeln aus abgehenden helikoidalen Wirbeln hervorgerufen sind, werden für einen beliebigen Punkt (x, y, z) des Raumes durch folgende Formel ausgedrückt:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{\bar r^2 - \bar r\bar z\cos\varphi_k - \bar r\bar y\sin\varphi_k}{[\bar r^2+\bar y^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k-2\bar r\bar y\sin\varphi_k+\lambda_0^2(\varphi_1-\varphi)^2]^{3/2}}\,d\varphi \\ v_y &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{[\bar z-\bar r(\varphi-\varphi_1)\sin\varphi_k-\bar r\cos\varphi_k]\lambda_0}{[\bar r^2+\bar y^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k-2\bar r\bar y\sin\varphi_k+\lambda_0^2(\varphi_1-\varphi)^2]^{3/2}}\,d\varphi \\ v_z &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{[\bar y+\bar r(\varphi-\varphi_1)\cos\varphi_k-\bar r\sin\varphi_k]\lambda_0}{[\bar r^2+\bar y^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k-2\bar r\bar y\sin\varphi_k+\lambda_0^2(\varphi_1-\varphi)^2]^{3/2}}\,d\varphi. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Hier sind: R — der Radius der Schraube; Γ — die Zirkulation; r — der Radius des Schaufelquerschnitts; $\bar r = \frac{r}{R}$ — der relative Radius des Querschnitts; $\bar x = \frac{x}{R}$, $\bar y = \frac{y}{R}$, $\bar z = \frac{z}{R}$ — relative Koordinaten eines Punktes des Raumes; v — die Stromgeschwindigkeit; D — der Schraubendurchmesser; n — die Umdrehungszahl pro sec.; $\lambda_0 = \frac{v}{\pi n D}$ — der Fortschrittsgrad der Schraube; φ — der veränderliche Parameter der Wirbelfäden; i — die Zahl der Wirbel bzw. Schaufeln; $\varphi_k = \varphi + 2\pi\left(1-\frac{k}{i}\right)$, worin $k = 1, 2, 3, \ldots, i$.

Unmittelbar für die aerodynamische Berechnung müssen diese Geschwindigkeiten auf der Schaufelaxe bekannt sein. Setzt man dann $\varphi_1 = 0$ und $\bar y = 0$, so erhält man die Beziehung (1) in folgender Gestalt:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{\bar r^2 - \bar r\bar z\cos\varphi_k}{[\bar r^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k+\lambda_0^2\varphi^2]^{3/2}}\,d\varphi \\ v_y &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{[\bar z-\bar r\varphi\sin\varphi_k-\bar r\cos\varphi_k]\lambda_0}{[\bar r^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k+\lambda_0^2\varphi^2]^{3/2}}\,d\varphi \\ v_z &= -\frac{1}{4\pi R}\int_0^1 \frac{d\Gamma}{d\bar r}\,d\bar r \sum_{k=1}^{i}\int_0^\infty \frac{[\bar r\varphi\cos\varphi_k-\bar r\sin\varphi_k]\lambda_0}{[\bar r^2+\bar z^2-2\bar r\bar z\cos\varphi_k+\lambda_0^2\varphi^2]^{3/2}}\,d\varphi. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Untersuchen wir die Beziehung (2), indem wir einen Schnitt weit hinter der Schraube ziehen. Für die Ermittlung der in so einem Fall hervorgerufenen Geschwindigkeiten genügt es das Wirbelsystem vorn vor der Schraube zu verlängern und die Integration nach φ von $-\infty$ bis $+\infty$ zu vollziehen.

Kraft der Symmetrie fällt es nicht schwer sich zu überzeugen, dass die Ergebnisse für die Komponenten v_x und v_y sich verdoppeln. Somit erhält man, erstens, den präzisierten Satz von Finsterwalder-Frud.

Satz 1. *Für die auf den Radien liegenden Punkte, von denen aus das Wirbelband abgeht, und für diejenige, die die Zentralwinkel zwischen diesen Radien halbieren, ist die in der Umdrehungsebene der Schraube hervorgerufene axiale Geschwindigkeit der halben Geschwindigkeit gleich, die weit hinter der Schraube hervorgerufen ist.*

Und zweitens, einen analogen Satz für die Umfangsgeschwindigkeit.

Satz 2. *Für die Punkte, die auf den Radien liegen, von denen aus das Wirbelband abgeht, so wie auch für die Punkte die die Zentralwinkel zwischen diesen Radien halbieren, ist die Umdrehungsebene der von der Schraube hervorgerufenen Umfangsgeschwindigkeit der halben Geschwindigkeit gleich, die weit hinter der Schraube hervorgerufen ist.*

Für die übrigen Punkte findet dieser Umstand nicht statt. Unter Betrachtung der dritten Formel der Beziehungen (2) erhält man für die radiale Geschwindigkeit v_r:

Satz 3. *In einer Ebene, die weit hinter der Schraube liegt, für alle Punkte auf den Radien, die den Radien parallel sind, von denen aus das Wirbelband abgeht, und für die Punkte, die die Zentralwinkel zwischen diesen Radien halbieren, ist die hervorgerufene radiale Geschwindigkeit gleich null.*

Für die übrigen Punkte der Ebene weit hinter der Schraube findet dieser Umstand nicht statt.

Bei einer unendlichen Wirbel bzw. Schaufelnzahl gelten alle drei Sätze in ihrer bisherigen Formulierung.

Wie es vom Verfasser in seiner vorigen Arbeit gezeigt wurde (1), können unmittelbar aus den Beziehungen (2) alle Folgerungen N. E. Joukowsky's erhalten werden. Also werden die Aufgaben der Berechnung der Schraube mit einer endlichen und unendlichen Schaufelnzahl verallgemeinert. Es seien in der Beziehung (1) die unter dem $\sum$-Zeichen stehenden Integrale entsprechend durch $\overline{X}$, $\overline{Y}$, $\overline{Z}$ bezeichnet und als «Einflusskoeffizienten» benannt. Es sei gesetzt: $\overline{k}=\overline{i}=1$ und

$$\overline{X}'=\overline{X};\quad \overline{Y}'=\overline{Y}\,\frac{\overline{z}}{\lambda_0};\quad \overline{Z}'=\overline{Z}\,\frac{\overline{y}}{\lambda_0}. \tag{3}$$

Stellen wir die Summe auf: $\overline{X}'+\overline{Y}'+\overline{Z}'$. Diese Integralensumme wird in Elementarfunktionen ausgedrückt. Durch Integration unter Rücksichtsnahme von Beziehung (3) erhält man endgültig:

$$\overline{X}\lambda_0+\overline{Y}\overline{z}+\overline{Z}\overline{y}=1+\frac{\lambda_0\varphi_1}{\sqrt{(\overline{r}-\overline{z})^2+\lambda_0^2\varphi_1^2}}. \tag{4}$$

Nimmt man in diesem Ausdruck $\varphi_1=0$ und $\overline{y}=0$ an, was den Punkten auf der Axe z (d. h. auf der Schaufel) entspricht, so erhält man:

$$\overline{X}\lambda_0+\overline{Y}\overline{z}=1 \tag{5}$$

oder

$$\frac{\lambda_0}{\sqrt{\overline{z}^2+\lambda_0^2}}\overline{X}+\frac{\overline{z}}{\sqrt{\overline{z}^2+\lambda_0^2}}\overline{Y}=\frac{1}{\sqrt{\overline{z}^2+\lambda_0^2}}. \tag{6}$$

Für eine endliche Wirbelzahl nimmt die Beziehung (6) eine folgende Gestalt an:

$$\frac{\lambda_0}{\sqrt{\bar{z}^2+\lambda_0^2}}\sum_1^i \overline{X}_i+\frac{\bar{z}}{\sqrt{\bar{z}^2+\lambda_0^2}}\sum_1^i \overline{Y}_i=\frac{i}{\sqrt{\bar{z}^2+\lambda_0^2}}. \tag{7}$$

Man erhält dann einen folgenden Satz:

S a t z 4. *Bei einer endlichen Zahl beliebig auf dem Zylinderumfang verteilter Wirbel, ist die Summe der Projektionen der hervorgerufenen Geschwindigkeiten (der axialen und der Umfangsgeschwindigkeit) auf die Richtung der relativen Geschwindigkeit gleich: für die inneren Punkte—der Projektion der hervorgerufenen axialen Geschwindigkeit, und für die äussern—der Projektion der Umfangsgeschwindigkeit auf dieselbe Richtung, wobei beide Grössen für eine unendliche Zahl der Wirbel errechnet sind.*

Prof. Tomijiro Moriya ([3],[4]) vermeidet bei seiner Berechnung der Projektionensumme der Geschwindigkeiten v_x und v_y auf die zur relativen Geschwindigkeit lotrechte Richtung den Unstetigkeitspunkt, indem er den sogenannten Induktionsfaktor einführt, der das Verhältnis

$$I=\frac{dw_n}{dw_{n1}} \tag{8}$$

ausdrückt, worin w_{n1} die von dem geradelinigen Wirbel hervorgerufene Geschwindigkeit ist, welche gleichfalls bei $\bar{r}=\bar{z}$ zur Unendlichkeit wird. Ohne dafür Beweise anzuführen, behauptet Moriya, dass diese Unendlickheiten zu einer und derselben Ordnung gehören und der Induktionsfaktor in dem Unstetigkeitspunkte deshalb gleich 1 ist.

Bei der Berechnung jeder Komponente im Einzeln findet dies nicht statt.

Beim Betrachten der Beziehung (8) für diesen Fall erhält man:

$$\lim_{\bar{r}\to\bar{z}} I_x=\frac{\bar{z}}{\sqrt{\bar{z}^2+\lambda_0^2}} \quad \text{und} \quad \lim_{\bar{r}\to\bar{z}} I_y=-\frac{\lambda_0}{\sqrt{\bar{z}^2+\lambda_0^2}}. \tag{9}$$

Es sei die Projektion der ermittelten Werte auf die zur relativen Geschwindigkeit lotrechte Richtung genommen. Dann ist wirklich der Induktionsfaktor in dem Punkte der Unstetigkeit

$$I=I_x\cos\beta_{\bar{z}}+I_y\sin\beta_{\bar{z}}=1.$$

Durch Gegenüberstellung von (9) erhält man den

S a t z 5. *Die Resultierende der Komponenten des Induktionsfaktors (I_x and I_y) im Punkte der Unstetigkeit ist zur relativen Geschwindigkeit in demselben Punkte lotrecht.*

Es soll jetzt die Gleichung (7) mit $\frac{d\Gamma}{d\bar{r}}d\bar{r}\frac{\bar{r}-z}{\bar{r}-z}$ multipliziert werden. In Anbetracht dass

$$(\bar{r}-\bar{z})\sum_1^i \overline{X}_i=I_x \quad \text{und} \quad (\bar{r}-\bar{z})\sum_1^i \overline{Y}_i=I_y$$

und durch Integration dieser Beziehung unter Berücksichtigung, dass $\Gamma(z_0)=\Gamma(1)=0$, erhält man endgültig:

$$\frac{v_y}{v_x}=-\frac{\lambda_0}{\bar{z}}. \tag{10}$$

S a t z 6. *Bei einer endlichen Schaufelnzahl ist die Resultierende der in einem gewissen Punkte $\bar{z}$, der auf dem Radius liegt, von dem aus die*

Wirbel abgehen, hervorgerufenen Geschwindigkeit (der axialen und der Umfangsgeschwindigkeit) zur relativen Geschwindigkeit in demselben Punkte lotrecht.

Dieser Satz ist nur für ein bestimmtes Verteilungsgesetz von λ längs dem Radius, der in Ausgangsausdrücken angenommen ist, bewiesen. Deshalb soll hier ein allgemeiner Beweis angegeben werden.

Verlängern wir das Wirbelsystem vorn von der Schraube. Dann wird der Strom in allen Punkten potenzial sein mit Ausnahme von Punkten der Wirbelfläche. Die Richtung des Wirbelvektors $\vec{\omega}$ wird mit der Richtung der Tangente zur Wirbellinie kongruieren, und der Winkel, der von der Normale zur Wirbelfläche und dem Vektor $\vec{\omega}$ gebildet ist, ist gleich $\frac{\pi}{2}$.

Daraus folgt

$$\left(\frac{\partial v_z}{\partial y}-\frac{\partial v_y}{\partial z}\right)\cos(\omega_x, n)+\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}-\frac{\partial v_z}{\partial x}\right)\cos(\omega_y, n)+$$
$$+\left(\frac{\partial v_y}{\partial x}-\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)\cos(\omega_z, n)=0.$$

Das ist aber die Bedingung für die Integrierbarkeit der Differentialgleichung

$$v_x\,dx+v_y\,dy+v_z\,dz=0$$

und gleichzeitig auch die Bedingung der gegenseitig lotrechten Lage der Vektoren $\vec{\omega}$ und $\vec{v}$. Indem man sich jetzt vom Wirbelsystem, das vorn vor der Schraube hinzugefügt war, entledigt, erhält man unter Rücksichtsnahme von Sätzen 1, 2 und 3 den Satz 6.

Dieser Umstand ermöglicht es bloss eine der Komponenten v_x oder v_y zu berechnen. Die vorhandenen Berechnungen für den Induktionsfaktor ([3],[4],[5]) wurden nach der Formel

$$I=(\bar{r}-\bar{z})\frac{\bar{z}\sum_1^i \underline{\bar{X}}_i-\lambda_0\sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i}{\sqrt{\bar{z}^2-\lambda_0^2}} \qquad (11)$$

ausgeführt.

Durch gemeinsames Lösen der Gleichungen (7) und (11) kann man sehr einfach die Komponenten $\sum_1^i \underline{\bar{X}}_i$ und $\sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i$ ermitteln, und folglich auch I_x und I_y, die für das weiter vorgelegte Verfahren der aerodynamischen Berechnung nötig sind. Doch sind die erwähnten Berechnungen nicht genug genau und können deshalb nur teilweise ausgenützt werden. Auf Grund der Gleichung (7) genügt es nur eine der Komponenten zu berechnen, aber auch das stellt eine ausserordentlich mühsame Aufgabe dar. Versuche zur Verringerung solcher Schwierigkeit unter Beihilfe derartiger Mittel, wie Legendre's Polynome und Besselsche Funktionen ([6],[7]), haben nicht zu erwünschten Ergebnissen geführt.

Es sei hier ein einfacheres Verfahren vorgeschlagen, das wesentlich die Arbeit erleichtert. Drücken wir die Komponente $\underline{\bar{X}}$ in folgender Gestalt aus:

$$\underline{\bar{X}} = \int_0^{\infty} \frac{\bar{r}^2 - \bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi}{[\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi + \lambda_0^2\varphi^2]^{3/2}}\,d\varphi =$$

$$= \int_0^{2\pi} \left\{ (\bar{r}^2 - \bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{[\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi + \lambda_0^2 (2k\pi + \varphi)^2]^{3/2}} \right\} d\varphi \qquad (12)$$

worin $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$

Für die Summe werden wir die bekannte Formel von Euler-Maclaurin anwenden. Dann erhält man die Beziehung (12) in folgender Gestalt:

$$\underline{\bar{X}} = \frac{1}{2\pi\lambda_0} \int_0^{2\pi} \frac{r^2 - r\,z\cos\varphi}{(\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi)}\,d\varphi -$$

$$- \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\varphi\,(\bar{r}^2 - \bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi)\,d\varphi}{(\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi)\sqrt{\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi + \lambda_0^2\varphi^2}} + \ldots \qquad (13)$$

Der Fehler bei der Berechnung nach dieser Formel überschreitet nicht den doppelten Wert des ersten vernachlässigten Gliedes (8). Indem man in der Formel (13) die Summe der Glieder mit Ausnahme des ersten Gliedes durch $R(r)$ bezeichnet und zur Geschwindigkeit übergeht, erhält man:

$$v_x = \frac{\Gamma}{8\pi^2 R\lambda_0} \int_0^{2\pi} \frac{\bar{r}^2 - \bar{r}\,\bar{z}\cos\varphi}{(\bar{r}^2 + \bar{z}^2 - 2\bar{r}\bar{z}\cos\varphi)}\,d\varphi + \frac{\Gamma}{4\pi R}\,R(\bar{r}). \qquad (14)$$

Es fällt nicht schwer zu ersehen, dass das erste Glied das Ergebnis N. E. Joukowsky's für die axiale Geschwindigkeit bei einer unendlichen Zahl der Schaufeln darstellt, die übrigen Glieder aber dienen als Berichtigung für deren unendliche Zahl.

Wenn die Zirkulation Γ keine ständige ist, so nimmt die Beziehung (14) eine folgende Gestalt an:

$$v_x = \frac{1}{4\pi R\lambda_0}\,\Gamma(\bar{z}) - \frac{1}{4\pi R} \int_{\bar{z}_0}^{1} \frac{d\Gamma}{d\bar{r}}\,R(\bar{r})\,d\bar{r}.$$

Zur Erleichterung der Rechnung ist es notwendig eine Vorstellung über die Art der Funktionen $\sum_1^i \underline{\bar{X}}_i$ und $\sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i$ zu gewinnen. Es sollen einige Grenzwerte untersucht werden. Lässt man $\bar{r}$ der Null zustreben, so ist

$$\lim_{\bar{r}\to 0} \sum_1^i \underline{\bar{X}}_i = 0; \quad \lim_{\bar{r}\to 0} \sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i = \frac{i}{\bar{z}}.$$

Es sei der andere Grenzfall geprüft, nämlich wenn $\bar{r} \to \infty$. Dann ist

$$\lim_{\bar{r}\to\infty} \sum_1^i \underline{\bar{X}}_i = \frac{i}{\lambda_0}; \quad \lim_{\bar{r}\to\infty} \sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i = 0.$$

In Anbetracht der bei der Ableitung von Satz 6 angeführten Überlegungen, schliessen wir, dass die Funktionen $\sum_1^i \underline{\bar{X}}_i$ und $\sum_1^i \underline{\bar{Y}}_i$ garmonische

Funktionen sind, die mit der Änderung von $\bar{r}$ den gefundenen Grenzen zustreben, doch ihrer absoluten Grösse nach immer grösser als die letzteren bleiben. Somit gelangen wir zu

Satz 7. *Bei einer endlichen Zahl von Wirbel (Schaufeln), die auf dem Zylinderumfange verteilt sind, überschreiten immer die Werte der Induktionskomponenten* $\sum_1^i \bar{X}_i$ *und* $\sum_1^i \bar{Y}_i$ *(und folglich auch die entsprechende Komponentenwerte des Induktionsfaktor* I_x *and* I_y*) nach ihrer absoluten Grösse die gleichen Werte, die für eine unendliche Wirbel- bzw. Schaufelnzahl errechnet waren.*

Unter Ausnützung des oben Angeführten ist dem Verfasser der vorliegenden Mitteilung folgendes gelungen: erstens, die Komponenten des Induktionsfaktors und nicht aber ihre Projektion, wie es die vorhandenen Berechnungen angeben, zu gewinnen; zweitens, eine viel grössere Genauigkeit für dieselben zu erzielen; und endlich, drittens, diese Komponenten für jeden praktisch notwendigen Fortschrittsgrad, von $\lambda_0 = 0$ aufwärts, zu ermitteln. Der letztere Umstand ist von grosser Bedeutung so wie für die Untersuchung der Arbeit der Schraube am Orte selbst, als auch für Berechnung von Schraubenflieger und Autogyre.

Das vorgelegte Verfahren der aerodynamischen Berechnung besteht in folgendem. Man stellt die Zirkulation Γ in der Gestalt von einer trigonometrischen Reihe dar

$$\Gamma = \sum A_n \sin n\theta$$

und die hervorgerufene Geschwindigkeit in einem gegebenen Punkte $\bar{z}$ durch eine der Formeln:

$$v_x = -\frac{1}{4\pi R} \int_{\bar{r}_0}^{1} \frac{d\Gamma}{d\bar{r}} \frac{I_x}{(\bar{r} - \bar{z})} d\bar{r};$$

$$v_y = -\frac{1}{4\pi R} \int_{\bar{r}_0}^{1} \frac{d\Gamma}{d\bar{r}} \frac{I_y}{(\bar{r} - \bar{z})} d\bar{r}.$$

Weiter wird die Aufgabe nach dem Verfahren der aufeinander folgenden Annäherungen gelöst, welches das einzig richtige und allgemeine für den gegebenen Fall ist.

Energetisches Institut.
Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

Eingegangen
den 20. VI. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] В. А. Константинов, Изв. Энерг. ин-та АН СССР, IX. [2] Н. Е. Жуковский, Полное собрание сочинений, VI. [3] Tomijiro Moriya, Journ. of the Faculty of Engineering Tokyo Imp. University, Tokyo, XX, No. 7 (1933). [4] T. Moriya, Journ. of the Soc. of Aeronautical Sci. of Nippon, **3**, No. 9 (1936). [5] Б. Л. Минухин, Тр. ЦАГИ, вып. 401 (1939). [6] Н. Н. Поляхов, там же, вып. 324 (1937). [7] H. Reissner, Philos. Mag., **24**, No. 163 (1937). [8] Charlier, Mechanik des Himmels, II.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PHYSIK

DER ELEKTRISCHE DURCHSCHLAG FESTER DIELEKTRIKA

Von A. K. KRASSIN

(Vorgelegt von S. I. Wawilow, Mitglied der Akademie, den 27. VI. 1940)

1. Analyse der Frage des elektrischen Durchschlags fester Dielektrika. Auf Grund der Analyse der bestehenden theoretischen Ansichten über den elektrischen Durchschlag fester Dielektrika und einer Zusammenstellung der Theorie mit dem Experiment ist Verfasser zu folgenden Schlüssen gelangt.

1) Die Versuchsergebnisse und Überlegungen allgemeiner Art von Hippl [1] und anderen sprechen überzeugend dafür, dass dem elektrischen Schlag ein Elektronenprozess zu Grunde liegt.

2) Bei einer Untersuchung der elektrischen Festigkeit von Monokristallen an Proben in Form von Plättchen mit einer halbkugelförmigen Aushöhlung erhielt Verfasser für einige Halogensalze der Alkalimetalle folgende Zahlenwerte:

Substanz	Anzahl der Proben	Maximale Durchschlagsspannung des Feldes (in Mill. V/cm)	
		Aushöhlung	
		positiv	negativ
NaCl	51	1.7	1.7
KCl	13	1.1	1.1
KBr	4	0.8	—
KJ	13	0.5	0.5

Der Durchschlag wurde bei beständiger Spannung ausgeführt. Die erhaltenen maximalen Zahlenwerte für die Durchschlagsfelder im Falle der Halogensalze von Alkalimetallen kommen den entsprechenden Resultaten von Hippl sehr nahe, welche sich beim Durchschlag von Plättchen bei Anwendung von Spezialelektroden ergaben.

3) Die Versuchsergebnisse spiegeln aus der Zahl der vorliegenden Theorien am besten die Theorie der Ionisation durch Anprall von Elektronen wieder; aber auch sie erweist sich als nicht genügend allgemein, sobald man sie auf Objekte von vershiedenartiger Struktur anzuwenden versucht.

4) Der Grundmangel der Theorien besteht darin, dass sie das Endstadium des Durchschlags nicht berücksichtigen. Die Theorien des elektrischen Durchschlags sind als Theorien der Entstehung einer Elektronenlawine aufgebaut; sie berühren aber nicht die Frage, auf welche Weise die Elektronenlawine eine Zerstörung der Substanz hervorruft, und geben keine konkrete Analyse der Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Momenten, welche in der Substanz in einem Felde entstehen, welches nahe dem Durchschlagsfelde liegt. Ebensowenig analysieren sie die Bedingungen des qualitativen Sprungs, welcher den Durchschlag ausmacht.

5) In bezug auf den elektrischen Durchschlag haben die verschiedenen Dielektrika das gemeinsame, dass sich in allen ein lawinenbildender Elektronenprozess entwickelt; aber das Endstadium des Durchschlags—die

Zerstörung des Gitters—zeigt in Objekten von verschiedener Struktur und mit ungleichen Eigenschaften entsprechend individuelle Eigenheiten.

6) Der Abschluss des elektrischen Durchschlags, als einer Durchschmelzung des Gitters, wird nicht augenscheinlich gemacht und ist nicht genügend auf physikalischen Daten begründet.

7) Die Theorie des elektrischen Durchschlags von festen Dielektrika wird einen Schritt vorwärts machen, sobald eine Analyse der Entwicklung des Endstadiums des Durchschlags gemacht sein wird, eine Analyse derjenigen qualitativ neuen Bedingungen, welche durch ein elektrisches Feld von grosser Mächtigkeit geschaffen werden und eine Zerstörung der Substanz hervorrufen.

Worobjew (²) hat anschaulich den Zusammenhang zwischen der Durchschlagintensität des Feldes und dem Ionenparameter der Gitter gezeigt und zur Schlussfolgerung gelangt, dass die Gitterenergie und die Durchschlagsintensität des Feldes eng miteinander verknüpft sind. Bei der Analyse des Problems des elektrischen Durchschlags fester Dielektrika sind Worobjew und Verfasser etwas verschiedene Wege gegangen; dass ihre Resultate einander nahe kommen beweist, dass die Überlegungen beider richtig sind.

2. Der Weg zur Lösung der Frage des elektrischen Durchschlags fester Dielektrika. Für die Lösung der Frage nach dem Schlussmoment des Durchschlags geht Verfasser von folgender Annahme aus.

Bei genügend grosser Spannung des elektrischen Feldes, sehr nahe zur Durchschlagsspannung, findet im Isolator der Prozess einer Ionisation durch Zusammenstösse von Elektronen statt; er verursacht eine bedeutende Verstärkung des Ionenstromes, welcher sich auf den Umfang des Körpers ungleichmässig verteilt und vorwiegend in gewissen lokalen Gebieten stattfindet, die besonders zur Entwicklung von Ionisierungsprozessen geneigt sind. Die Entwicklung der Ionisierung durch Zusammenstösse im Felde der grössten Spannung hat nicht nur das Auftreten von neuen freien Elektronen zur Folge, sondern verleiht auch ihrer Bewegung eine bestimmte Richtung. Das Auftreten einer grossen Anzahl von in Bewegung befindlichen Elektronen im Isolator verursacht eine Verminderung des Bandes zwischen den Knotenteilchen des Gitters; dies hat zur Folge, dass das im gegebenen Moment der Substanz vorhandene elektrische Feld, welches einen Elektronenstrom darin hervorruft, sich als fähig erweist die schon durch Elektronen abgeänderte Beziehung zwischen den geladenen schweren Körperteilchen endgültig zu zerstören und somit den festen Aufbau der Vernichtung entgegen zu bringen.

Die von uns gemachte Annahme erinnert in einigen Zügen an die Theorie der elektrostatischen Sprengung des Gitters; dabei unterscheidet sie sich jedoch grundwesentlich von den alten Vorstellungen, in denen sie auf der polarisierenden Wirkung des Elektronenstromes beruht.

Das Durchschlagsfeld allein, ohne der schwächenden Einwirkung des von ihm erzeugten Elektronenstroms auf die bindenden Kräfte zwischen den schweren Teilchen, wäre nicht imstande das Gitter zu zerstören; bei vereintem Wirken dieser Kräfte dagegen ist eine Zerstörung des Gitters durch das Feld wohl möglich.

Im weiteren wird ein kleines Zahlenbeispiel angeführt, welches die reale Möglichkeit der hier formulierten Annahme illustriert; bevor wir aber unmittelbar zur Berechnung übergehen, ist es erforderlich folgende Angaben zu machen.

In einer durchgeshlagenen Probe hat die zerstörte Stelle stets die Form eines Kanals, wobei der Zerstörung der schwächste Teil des Musters anheim-

fällt. Die Berechnungen in bezug auf den Strom müssen stets berücksichtigt werden, dass beim Durchschlag sich nicht der gesammte Kristall in einer kritischen Lage erweist, sondern nur ein geringer Teil, der sich später dem Auge als Durchschlagskanal darbietet.

Wollen wir als einen solchen Kanal, in dem sich der Durchschlag abspielt, einen Teil des Kristalls wählen, der die Dimensionen von $10^3 \times 10^3 \times 10^5$ Teilchen des Gitters hat. Dieser Umfang ist sehr klein im Vergleich mit demjenigen des Kristalls, aber doch genügend gross, um die strukturelle Eigenart des gegebenen Kristallsystems zu wiederspiegeln. Nehmen wir an, dass infolge des Ionisierungsprozesses am Anfang freie Elektrone in der Anzahl von je 1 Elektron auf jede 10 Gitterteilchen entstehen. In diesem Fall treten im zu untersuchenden Raum 10^{10} freie Elektrone auf. Falls auf jede 10 Gitterionen, z. B. für NaCl, je 1 freies Elektron vorliegt und ausserdem jedes Elektron sich von irgend einem Ionen losgelöst hat, so bedeutet dies, dass auf jede 4—5 Ionen je ein neutrales Atom oder aber ein übriges Elektron kommt. Es steht zu erwarten, dass unter solchen Umständen das Gitter des NaCl in einem Felde von 1.5×10^6 V/cm nicht im Gleichgewicht verharren kann und sich somit als durch das Feld zerstört erweisen wird.

Bei dem Ionisierungsprozesse von NaCl in einem Felde von 1.5×10^6 V/cm kann die oben angegebene Anzahl von Elektronen erhalten werden, wenn 5—6% sämmtlicher freiwerdender Elektronen im weiteren eine Ionisierung hervorrufen werden. Die Geschwindigkeit der ionisierenden Elektronen ist gross; dagegen ist die Geschwindigkeit der sich frei bewegenden Elektronen, welche den Strom erzeugen, bedeutend geringer. Bei einer Berechnung der Stromstärke im Kanal kann man die Beweglichkeit der Elektronen nicht in Betracht ziehen, da sie für die eine Ionisation erzeugenden Elektronen nicht charakteristisch ist.

Angaben über die Beweglichkeit der Elektronen im NaCl für das Temperaturgebiet 600—700°C, die von Strassow und Smakul stammen, finden wir in der Abhandlung von Arzybyschew ([3]). Extrapoliert man—freilich willkürlich—diese Zahlenwerte auf das Gebiet der Zimmertemperaturen, so kann man annehmen, dass die Ionenbeweglichkeit in NaCl gleich 2×10^{-5} cm²/V sec. ist; das ergibt im Felde von 2×10^{-6} V/cm eine mittlere Ionengeschwindigkeit von $v = 50$ cm/sec. und eine Stromstärke im Kanal von $I = 3 \times 10^{-5}$ A.

Wird die Durchschlagszeit τ zu 10^{-8} sec. angenommen, so ergibt sich, dass der von uns für die Berechnung gewählte Kanal im NaCl sich während des Durchschlags nur auf 400°C erhitzen wird.

Ist der hier betrachtete Ionisierungsprozess beendet, so ist die entbundene Wärme bei dem völlig unnormalen Zustande des Gitters noch nicht imstande den Kanal zu schmelzen. Selbstverständlich beweist das angeführte elementare Beispiel noch nicht die Richtigkeit unserer Annahme in bezug auf den Verlauf des elektrischen Durchschlagsprozesses, sondern gibt nur die wesentliche Orientierung. Der in diesem Beispiel berührte Fall fordert eine strengere Berechnung, erst dann lässt sich erwarten, dass die Richtigkeit der hier formulierten Idee dadurch ausgiebiger bekräftigt werden wird.

Wir betrachten es als angenehme Pflicht unseren innigsten Dank Prof. Dr. P. S. Tartakowski und Prof. Dr. A. F. Walter für manche wertvolle Ratschläge, sowohl wie auch Prof. Dr. A. A. Worobjew, der uns das Thema zur Verfügung gestellt hat, auszusprechen.

Hochspannungs-Laboratorium des Phys.-Techn. Instituts.
Staatsuniversität zu Tomsk (Sibirien).

Eingegangen
den 2. VII. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] A. Hippl, Jrnl. of Applied Physics, 8, 815 (1937). [2] А. А. Воробьев, Тр. СФТИ, 5, 234 (1939). [3] Арцыбышев, Тр. Физич. ин-та Акад. Наук СССР, 1 вып., 35 (1938).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PHYSICS

INFLUENCE OF TEMPERATURE UPON LIGHT-SUMS AND DECAY OF CaSBi-PHOSPHOR

By V. A. YASTREBOV

(Communicated by S. I. Wawilow, Member of the Academy, 9. VII. 1940)

Radiation of phosphors is in many cases strongly dependent on temperature; the study of the influence of temperature on their radiation may yield valuable data as to the mechanism of phosphorescence. It is also of considerable practical interest, since in the course of their treatment, phosphorescent substances may be exposed to most various temperature conditions.

The works available on temperature influences are either of qualitative character ([1]) or else they do not embrace a sufficiently large temperature range ([2–3]).

The purpose of the present study was to investigate the mechanism of development and vanishing of the band of luminescence in the course of temperature variations of the phosphor; this was to be done after the changes in the shape of the curves of decay and of the amount of light of the respective band within a possibly large temperature interval.

As material for our work we made use of the α-band of the CaSBi-phosphor which is a typical alkaline earth phosphor. This phosphor was already investigated by Kuppenheim in 1923([2]). However, some traits of the results obtained by this author point to that more exact experiments are desirable. Thus, e. g., from Kuppenheim's data it follows that even with 423° K the intensity of radiation within the first minute of decay decreases only three or four times. Yet it is well known that in alkaline earth phosphors radiation intensity usually decreases within the first minute several tens of times. Besides, according to Kuppenheim, the amount of light, except for the first few seconds, changes with time according to the linear law; it would have been possible only if radiation intensity had been independent of time, which is out of question.

We have investigated the isotherms of decay of the α-band of CaSBi-phosphor within the range 90—673°K. For this interval the sample investigated (1 mm thick) was placed in vacuo between the walls of a Dewar vessel, upon its inside flat wall. The exciting light entered through a quartz window, while radiation escaped through the second one. For cooling the vessel was filled with liquid oxygen, or a cooling mixture. To get it warm, it was filled with water which could be heated to the necessary temperature by means of current. In experiments involving $T > 373$°K phosphor was heated in an electric furnace. The temperature was controlled with the help of a thermocouple placed in the specimen powder at its surface. Excitation was produ-

ced by means of the light of a mercury lamp through a black glass; the exciting light consisted almost entirely of 366 and 313 mμ lines. The excitation lasted one minute in all the experiments. This is quite sufficient to ensure a full excitation corresponding to the given intensity of the exciting light. The radiation of the phosphor entered the photometer through a blue filter which did not let pass rays with a wave-length above 4800 Å.

It is known ([9], [10]) that in many cases decay of phosphorescence follows the hyperbolic law

$$I = At^{-\alpha}. \qquad (1)$$

This formula proved valid in our case, too.

Fig. 1 shows in co-ordinates $\lg t$ and $\lg I$ the isotherms of decay obtained. They make it possible to trace both the development and vanishing of the band of radiation in case of temperature increase. Dotted lines stand for the temperature interval 90—289°K, within which radiation is observed to increase. Solid lines correspond to the range 329—673°K, along which the intensity of phosphorescence gradually decreases. An examination of Fig. 1 shows that beginning with 673°K and approximately down to 365°K, the effect of temperature decrease tells in an increase in the amount of light emitted in the form of phosphorescence, whereas the shape of the curves of decay remains unchanged. Within this range α is a constant (within the experiment's accuracy), being in the average equal to 1.11. These results are in agreement with the data obtained by Levschin and Rikman ([7]) who have studied the decay in CaSSm-phosphor at 293, 373 and 473°K; the absolute value of α found by them for CaSSm-phosphor was very near to that observed by us for CaSBi-phosphor. Thus, one and the same value of α may characterize the decay phosphor within a rather wide range of temperatures. With further temperature decrease the rectilinear part of the decay curves becomes smoother, while their initial, non-rectilinear part becomes longer. With a $T = 90$°K, α is equal to 0.84.

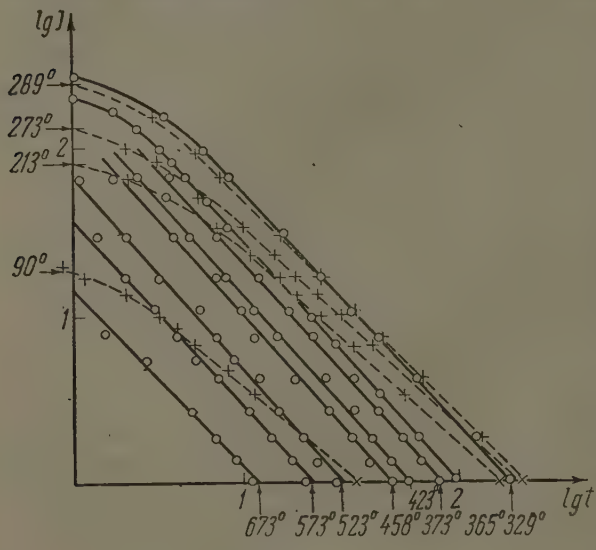


Fig. 1.

Values of α and L at Different Temperatures

t °K	90	213	273	289	311	329	365	373	423	458	523	573	673
α	0.84	0.92	0.99	1.03	1.04	1.07	1.12	1.11	1.10	1.10	1.12	1.10	1.09
L	179	1090	1500	2250	2490	2560	1335	1070	682	555	275	180	80

The table contains numerical values of α at different temperatures, while curve I of Fig. 2 illustrates the change undergone by α throughout the tempe-

rature range investigated. In spite of the fact that in all the experiments described above the intensity of the exciting light and the length of excitation remained constant, the electron concentration at the moment excita-

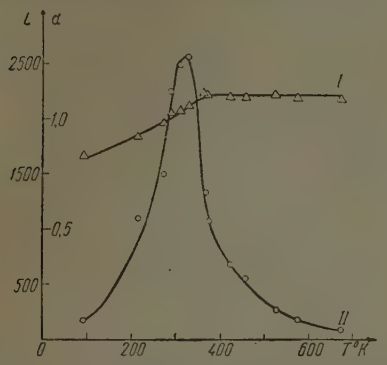


Fig. 2. *I*—variation of α, *II*—variation of *L*.

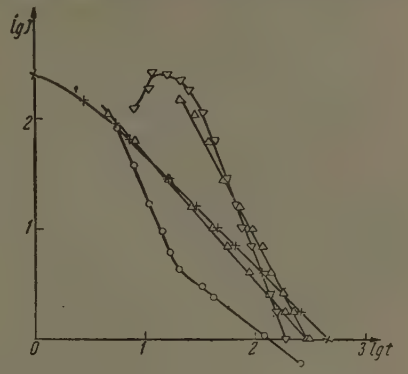


Fig. 3.

Symbols	+	△ lower straight line	△ upper straight line	▽	○
$T°$ K excitation	289	348	289	289	329
$T°$ K decay	289	348	348	408	280

tion was cut off could not be the same at different temperatures, since temperature variation results in a change in the rate of recombination of the electrons.

To gain some idea as to the change in the run of curve of decay with temperature in the case of a constant initial concentration of electrons able to recombine, we introduced the following modification into the method of taking isotherms: phosphor was each time excited for one minute at room temperature (which secured the constance of the initial electron concentration); the excitation was then cut off and phosphor was rapidly transferred to a new temperature (348, 408°K), at which decay measurements were done.

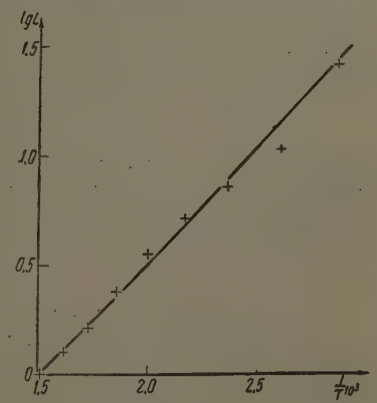


Fig. 4.

The results of measurements are given in Fig. 3. The run of the isotherms taken after the new method essentially varies from their former course. The curves of Fig. 3 show that after new temperature is established (t=28 sec.), the dependence between lg I and lg t still remains linear; however, the curves are the steeper, the higher the temperature. Analogous results were obtained in experiments with decrease in temperature. In these experiments phosphor was excited at 329°K, wihle the decay of phosphorescence was observed at 280°K. Until new temperature was established, a very rapid drop of intensity could be observed in this case. After a lower temperature was established (280°K), the incline of the curve of decay proved gentler than that of the respective isotherms taken after the old method.

Thus, the experiments carried out show that with a constant initial concentration of the ionized centres, a decrease or an increase in the temperature of the excited phosphor will result in a decrease or an increase in α, while decay will continue to follow the hyperbolic law. It should be noted that the experiments described above give but a qualitative picture of the phenomenon, since complete heating required about 28 sec. Therefore a certain part of light amount might be emitted, before the new temperature was established at temperatures intermediate between the initial and the ultimate. For all the isotherms obtained according to the former method, the amounts of light received by the phosphor from the end of the first second and to the end of the hundredth after excitation had been cut off, were planimetrically determined from the curves of decay. For temperatures above 423°K, for which experimental points do not cover the whole period mentioned above, the amounts of light were determined by way of extrapolation of the curves of decay up to $t=100$ sec.

The results of planimetrisation are given in curve *II* (Fig. 2) which represents graphically the course of variation of the light amount of phosphor within the said temperature interval. This curve shows a sharp maximum at 330°K. Its run may be given the following qualitative interpretation. At low temperatures, the electrons placed at deep-cited local levels had but little chance to be raised by means of the thermal shocks into the band of conductivity within the 100 sec. that lasted our experiment. When the decay is being observed during a rather short time, in the process are involved only electrons from local levels near the conductivity band. The number of such electrons is not large; the rest of electrons happen to be as it were «frozen» and are practically out of the game. As temperature increases, more and more of them become able to rise from local levels into the band of conductivity and recombinate. The amount of light sum growths.

At sufficiently high temperatures which allow the electrons from all the local levels to rise to the band of conductivity, the number of electrons present at the initial moment of decay (ceteris paribus) will be the smaller, the higher the probability of recombination. The latter increases with temperature, which accounts for the descending part of curve *II* (Fig. 2) beginning with 330°K and upward. In this part the run of the curve is analytically well described by an equation of the form

$$L = \dot{L}_0 e^{\frac{b}{kT}} \qquad (2)$$

where $b=0.2$ eV. The above-said is illustrated by Fig. 4. This course of the curve can be understood if, following Blokhinzev ([11]), we assume that the probability of recombination of an electron and an ion varies with temperature according to the equation:

$$p = p_0 e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \qquad (3)$$

where ε is energy of activation.

Indeed, let us assume that within one second E quanta, whose absorption coefficient is equal to a, fall on a physically infinitely thin layer of phosphor. If N denotes the number of absorbing centres, while n stands for the number of electrons separated as a result of light absorption, then for the case of equilibrium between emission and absorption we can write the relation:

$$aE(N-n) = pn^2 \qquad (4)$$

whose left part gives the number of centres excited per unit time, while the right part contains the number of recombinations. Hence

$$n = \frac{\sqrt{a^2E^2 + 4aENp} - aE}{2p}.$$

Introducing the denotations $aE = A$, $4aENp_0 = B$, $2p_0 = C$, neglecting the dependence of the absorption coefficient on temperature, and substituting for p its value from equation (3), we obtain:

$$n = \frac{A}{C}\left(\sqrt{1 + \frac{B}{A^2}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}} - 1\right)e^{\frac{\varepsilon}{kT}}. \tag{5}$$

For the case when

$$\frac{B}{A^2}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \gg 1 \tag{6}$$

we shall have

$$n = \frac{\sqrt{B}}{C}e^{\frac{\varepsilon}{2kT}} = \sqrt{\frac{aEN}{p_0}}e^{\frac{\varepsilon}{2kT}} \tag{7}$$

i. e., with increase in temperature, the light-sum stored in a thin layer must decrease according to the exponential law.

Such a dependence, however, will take place only so long as condition (6) is fulfilled, i. e. $\frac{B}{A^2} \gg e^{\frac{\varepsilon}{kT}}$. At a sufficiently low temperature, if $\frac{B}{A^2} \ll e^{\frac{\varepsilon}{kT}}$, and consequently, $\frac{B}{A^2}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \ll 1$

$$n = \frac{B}{2AC} = N$$

saturation takes place.

The exponential dependence (7) of the light amount on temperature holds true for a thick layer as well, and it is only the coefficient that changes.

Indeed, let E_0 denote the number of quanta falling on the surface of a thick layer. Then the number of quanta that fall on a thin layer located at a depth l from the surface will be $E = E_0 e^{-al}$, while the total light-sum stored in a thick layer will be:

$$L = \int_0^\infty n(e)\,dl = \sqrt{\frac{aNE_0}{p_0}}e^{\frac{\varepsilon}{2kT}}\int_0^\infty e^{-\frac{a}{2}l}\,dl = 2\sqrt{\frac{E_0N}{ap_0}}e^{\frac{\varepsilon}{2kT}}. \tag{8}$$

We determined in our experiments only those light-sums which are emitted within the period from the end of the first second until the end of the 100th second after excitation has stopped. However, in so far as at high temperatures the shape of the curves of decay remains unchanged, it may be assumed that with these temperatures the relation between the light-sums will remain the same, if they are determined for considerably larger periods of time. The variation of the value of the light-sum with temperature obtained by us may, therefore, be taken to confirm experimentally the dependence of recombination probability on temperature, as given by formula (3); the energy of activation $\varepsilon = 2b$ proves thereby equal to 0.4 eV.

The present work was done under the guidance of Prof. V. L. Levshin, to whom I wish to express my profound gratitude.

Lebedev Physical Institute.
Academy of Sciences of the USSR.

Received
11. VII. 1940.

REFERENCES

[1] Handb. d. Exper. Phys., **23**, T. 1, 59 (1928). [2] H. Kuppenheim, Ann. d. Phys., **70**, 81 (1923). [3] W. Bünger und W. Flechsig, ZS. f. Phys., **67**, 42 (1931). [4] R. Coustal, Journ. de chim. phys., **28**, 345 (1931). [5] W. L. Lewschin, Acta Phys. Polon., **5**, 301 (1936). [6] V. V. Antonov-Romanovsky, C. R. Acad. Sci. URSS, XVII, 95 (1937). [7] V. L. Levshin and E. P. Rikman, ibid., XX, 445 (1938). [8] V. V. Antonov-Romanovsky, ibid., XX, 361 (1938). [9] V. L. Levshin and V. V. Antonov-Romanovsky, ibid., No. 5, 205 (1933). [10] В. Л. Левшин и В. В. Антонов-Романовский, ЖЭТФ, **4**, 1022 (1934). [11] Д. И. Блохинцев, там же, **6**, 1060 (1936).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

TECHNISCHE PHYSIK

DIE ENERGETISCHE SPEKTRALE EMPFINDLICHKEIT PHOTOGRAPHISCHER SCHICHTEN IM ULTRAVIOLETTEN TEIL DES SPEKTRUMS

Von I. I. BREIDO und G. N. GOROCHOWSKY

(Vorgelegt von S. I. Wawilow, Mitglied der Akademie, den 5. VII. 1940)

Im Zusammenhang mit der rasch fortschreitenden Anwendung der Photographie, erregt in den letzten Jahren die spektrale Empfindlichkeit photographischer Schichten ein stets wachsendes Interesse. Die spektrale Empfindlichkeit moderner photographischer Schichten, in absoluten energetischen Einheiten ausgedrückt, war der Gegenstand einer Reihe eingehender Forschungen. Die meisten dieser Forschungen beschränkten sich aber nur auf die sichtbaren und infraroten Teile des Spektrums. Im ultravioletten Teile des Spektrums bleiben die modernen photographischen Schichten noch immer beinahe unerforscht; der letzte Aufsatz über die energetische spektrale Empfindlichkeit im Ultraviolett erschien unseres Wissens noch im Jahre 1926(1).

Zur Untersuchung der spektralen Empfindlichkeit im ultravioletten Teile des Spektrums haben wir ein Verfahren entwickelt, das in seinen Grundzügen demjenigen von Gorochowsky und Waliaschko (2) zur Feststellung der energetischen spektralen Empfindlichkeit im sichtbaren und infraroten Bereich des Spektrums angewandten ziehmlich ähnlich ist.

Als Apparat benutzten wir einen lichtstarken (Öffnungsverhältnis 1 : 4.5) Hilger'schen Quarz- Spektrographen mittlerer Dispersion. Als Lichtquelle diente ein Quarz-Quecksilberbogen, der bei konstanter Speisung arbeitete. Eine Quelle mit kontinuierlicher ultravioletter Strahlung wäre vorteilhaft, aber die uns zur Verfügung stehenden Lichtquellen dieser Art (Wasserstoffröhren und Glühlampen) besassen eine Intensität, die zwar für das Exponieren photographischer Schichten vollkommen genügend war, jedoch für eine thermoelektrische Ausmessung durchaus unzureichend erschien.

Die Energieverteilung (die Verteilung der Dichten der monochromatischen Lichtströme) im erhaltenen Linien-Spektrum wurde für Quecksilberlinien von den Wellenlängen 253, 280, 313, 334, 365, 404 und 436 mμ gemessen. Als Empfänger der Strahlungsenergie diente zu diesem Zwecke eine mit einem bereits an anderer Stelle beschriebenen (3) Kompensationsschema verbundene Thermosäule nach Moll (im Leningrader Physikalisch-Agronomischen Institut hergestellt). Eine Thermosäule der genannten Art erwies sich als der einzige für unseren Zweck geeignete nicht selektive Empfänger. Die bedeutend empfindlicheren photoelektrischen Empfänger sind bekanntlich stets selektiv; da ihre spektrale Empfindlichkeit vorläufig festgestellt sein musste,

so kamen wir zum Ausgangsproblem zurück. Die thermoelektromotorischen Kräfte wurden bei Anwendung unseres Verfahrens mit einer Genauigkeit von ungefähr 0.05 Mikrovolt gemessen, was für die schwächste der gemessenen Linien, bei einer Breite des Spektrographen-Eintrittsspaltes von 1 mm, ungefähr 7% des gemessenen Wertes beträgt.

Der Flächeninhalt des in der Brennebene des Instruments erhaltenen Bildes der Spektrallinien wurde auf photographischem Wege bestimmt, und die Thermosäule wurde nach der Strahlung einer normalen Hefner-Lampe geeicht; in dieser Weise bestimmten wir die Dichten der aus dem Spektrographen austretenden monochromatischen Lichtströme in energetischen Einheiten (erg/ cm^2 sec.).

Zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit photographischer Schichten wurden Spektralsensitogramme erzielt, zu welchem Zweck die Schichten während acht verschiedenen Zeiten (Zeitskala) im Bereiche von 5 bis 120 Sekunden exponiert wurden. Die auf die photographische Platte auffallenden Lichtströme wurden dabei 10000 fach und darüber mittels in unmittelbarer Nähe der Kondensorlinse aufgestellten mit Bleisulphid geschwärzteten Metaldrahtnetzen geschwächt. Die optische Dichten der Drahtnetze wurden sorgfältig mit visuellen Photometern gemessen, und das Ausbleiben einer selektiven Reflexion wurde durch spektralphotometrische Messungen sowohl im sichtbaren, wie im ultravioletten Teile des Spektrums bewiesen. Die erhaltenen Spektrallinienbilder hatten die Grösse 0.75×4.0 mm. Unter diesen Bedingungen waren die durch Mikroeffekte der Entwicklung hervorgerufene Fehler ausgeschlossen, und die optischen Dichten der entwickelten Schicht konnten mittels eines gewöhnlichen mit einem Austrittsspalt versehenen Polarisations-Densitometer gemessen werden.

Die spektrale Empfindlichkeit, S_λ, wurde durch die reziproke Grösse der zur Erzielung einer gleichmässigen optischen Dichte bei gegebener Wellenlänge nötigen Exposition ausgedrückt. Es wurde als solche Dichte für die von uns untersuchten Platten und Kinofilme die «diffuse» Dichte gewählt, welche nach Entwicklung des Spektralsensitogramms bei $+20°C$ während 6 Minuten gleich eins ausfiel. Die auf diese Weise bestimmte energetische spektrale Empfindlichkeit wird in cm^2/erg ausgedrückt. Die spektrale Empfindlichkeit wurde im Bereiche der Wellenlängen von 250 bis 700 mμ bestimmt, wobei die Prüfungen bei Wellenlängen über 425 mμ unter Anwendung eines bereits beschriebenen Verfahrens (3) auf einem Spektralsensitometer des Staatlichen Optischen Instituts durchgeführt wurden.

Es wurden folgende photographische Schichten auf ihre spektrale Empfindlichkeit untersucht: die von NIKFI (Forschungsinstitut für Kinematographie und Photographie) hergestellte Platten—diapositive, hochempfindliche nicht-sensibilisierte, orthochromatische und isochromatische, und «ST»-Kinofilm für Lichttonaufzeichnung, sowie Aristotypepapier (sichtbare Schwärzung) und Diazofilm NIKFI. Die beiden letzten Materialien unterscheiden sich in bezug auf ihre Eigenschaften und Bearbeitungsbedingungen scharf von den üblichen photographischen Bromsilbergelatineschichten. Um die optischen Dichten auf Spektralsensitogrammen solcher Art auszumessen, mussten die Schichten auf Kontaktwege oder mittels eines photographischen Apparats auf eine gewöhnliche photographische Schicht von geringem Kontrast kopiert und dann die Dichten auf der erhaltenen Kopie ausgemessen werden. Darum sind die spektralen Empflindlichkeiten dieser beiden Schichten nach ihrem absoluten Wert mit den spektralen Empfindlichkeiten der übrigen photographischen Materialien nicht ganz vergleichbar.

Die Resultate sind in Abb. 1 und 2 dargestellt. Für diapositive und orthochromatische Platten und für den «ST»-Film stellen die Kurven das Mittel für zwei verschiedene Emulsionen dar.

Aus dem Verlauf der Kurven in Abb. 1 ist zu ersehen, dass alle negative hochempfindliche photographische Schichten ein deutlich ausgeprägtes Maximum der Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von etwa 450 mμ besitzen. Nach der Seite der grösseren Wellenlängen hin fällt die spektrale Empfindlichkeit steil ab; dagegen nimmt sie nach der Seite kurzer Wellenlängen langsamer ab und erreicht bei der Wellenlänge 250 mμ ungefähr $^1/_2$ ihres Maximalwertes. Beim Film «ST» ist das Maximum bedeutend schwächer ausgeprägt, und bei diapositiven Platten sehen wir anstatt eines Maximums ein weites Bereich, in dem die spektrale Empfindlichkeit beinahe konstant bleibt, um erst bei Wellenlängen unter 330 mμ allmählich abzufallen.

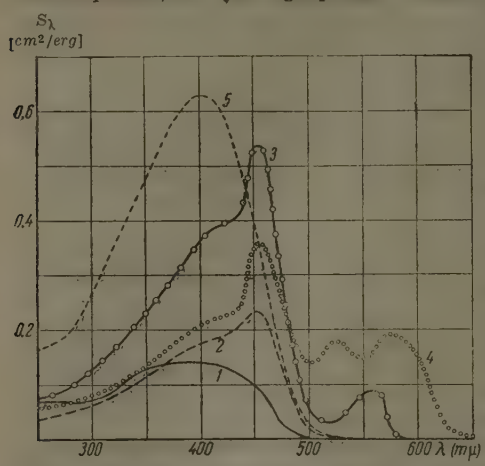


Abb. 1. Kurven der energetischen spektralen Empfindlichkeit entwickelbarer photographischer Schichten:
1—diapositive Platten;
2—hochempfindliche nicht sensibilisierte Platten;
3—orthochromatische Platten;
4—isochromatische Platten;
5—Kinofilm «ST».

Die Kurven der spektralen Empfindlichkeit im ultravioletten Teil des Spektrums für alle negativen Schichten unterscheiden sich sehr wenig voneinander. Dieses Resultat war ja natürlich vorauszusehen, da die Zusammensetzung der festen Phase aller negativen Schichten ungefähr die gleiche ist: sie sind alle Silberbromidemulsionen, die gewöhnlich eine kleine Menge von Silberjodid enthalten. Was die niedrigempfindlichen diapositiven Platten betrifft, so ist ihre spektrale Empfindlichkeit im sichtbaren Teil des Spektrums bedeutend geringer, als diejenige negativer Schichten, indem ihre Empfindlichkeit im ultravioletten Teil des Spektrums sich derjenigen negativen Schichten als gleiche erweist und in einigen Fällen die letztere sogar übertrifft. Dieser Unterschied im Verlauf der Spektralempfindlichkeitskurven negativer bzw. positiver Schichten ist offenbar durch die Verschiedenheit der Bedingungen ihrer Erhaltung zu erklären.

Wir sehen auch, dass die Empfindlichkeitswerte photographischer Schichten für gewöhnliches Tageslicht (welches sehr wenig ultraviolette Strahlung enthält), z. B., nach Hurter und Driffield ausgedrückt, die uns gewöhnlich zur Schätzung der Empfindlichkeit dienen, beim Übergang in den ultravioletten Teil des Spektrums ihre Gültigkeit verlieren.

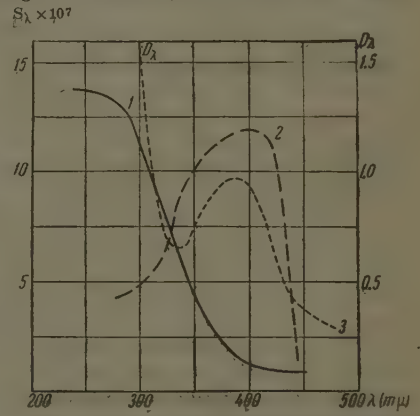


Abb. 2. Kurven der energetischen spektralen Empfindlichkeit entwicklungsloser photographischer Schichten:
1—Aristotypepapier;
2—Diazofilm;
3—Absorptionskurve des Diazofilms.

Die in Abb. 2 dargestellten Kurven der spektralen Empfindlichkeit entwicklungsloser photographischer Schichten unterscheiden sich wesentlich in einer Hinsicht von den obenerwähnten Kurven für entwickelbare Schichten. Diese Kurven geben in erster Annäherung die Kurven der spektralen Absorption der entsprechenden lichtempfindlichen Systeme wieder. Das ist, z. B., aus der zum Vergleich angeführten Kurve der Absorption (D_λ) eines Diazofilms zu ersehen.* Was das Aristotypepapier betrifft, das als Lichtempfindlichkeitsträger Chlorsilber in Anwesenheit überflüssiger Silberionen enthält, so nimmt bekanntlich die Absorption des Chlorsilbers mit der Abnahme der Wellenlänge rasch zu.

Es ergibt sich ein ganz anderes Bild für photographische Schichten mit Entwicklung, für die im ultravioletten Bereiche kein Parallelismus zwischen dem Verlauf der Absorptionskurven und denjenigen der Spektralempfindlichkeitskurven beobachtet wird. Leermakers ([4]) zeigte vor Kurzem, dass im Bereiche der Sensibilisation, d. h. im sichtbaren Teil des Spektrums, eine gute Übereinstimmung dieser beiden Kurven beobachtet wird. In unserem Falle nimmt jedoch die spektrale Empfindlichkeit mit der Abnahme der Wellenlänge der ultravioletten Strahlung ab, indem—nach den in der Literatur veröffentlichten Daten—die Absorption von Brom-, wie auch von Jodsilber, in diesem Bereiche rasch zunimmt. Es wird scheinbar eine Übereinstimmung der Absorption und der spektralen Empfindlichkeit nur für diejenigen Strahlungen beobachtet, die die Emulsionsschicht leicht durchdringen. In den Fällen aber, wo eine sehr starke Absorption vorhanden ist und wo die Strahlung nur wenig in die Tiefe der Emulsionsschicht eindringt, entsteht eine Diskrepanz zwischen der Menge der absorbierten Lichtquanten und der photographischen Wirkung, die nach der Schwärzung, welche nach der Entwicklung erhalten wird, geschätzt wird.

Optisches Staatsinstitut.
Laboratorium für wissenschaftliche Photographie.
Leningrad.

Eingegangen
den 9. VII. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] L. A. Jones und O. Sandvik, Journ. Opt. Soc. Am., **12**, 401 (1926).
[2] G. Gorochowsky und E. Waliaschko, Techn. Physics USSR, **3**, 528 (1936).
[3] Ю. Н. Гороховский, Кинофотохимпром., **5**, вып. 11—12, 80 (1939).
[4] J. A. Leermarkers, Journ. Chem. Physics, **5**, 889 (1937).

* Das Aufsteigen der Absorptionskurve im Gebiete kürzerer Wellen (<330 mμ) wird durch die Absorption des Zelluloidfilms bedingt.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

CHIMIE

LA CINÉTIQUE DE LA RÉACTION DE RÉDUCTION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR CARBONE

Par V. S. ALTSCHULER et Z. F. TCHOUKHANOFF, membre correspondant de l'Académie

La réaction de réduction de CO_2 par le carbone du combustible solide a une grande importance pour toute une série des processus technologiques. Le mécanisme, de même que la cinétique de cette réaction, ne sont presque pas étudiés. Les résultats d'études, d'ailleurs peu nombreuses, n'ont pas amené à un schéma unique du mécanisme de ce processus, et même ne caractérisent pas entièrement l'influence des divers paramètres sur la marche de la réaction.

Dans la présente Note les auteurs ont formé, après l'analyse et l'examen théorique des données expérimentales, un schéma du mécanisme de la réaction de réduction de CO_2 par le carbone.

Toutes les études précédentes du mécanisme de la réaction CO_2+C ont prouvé, que la première étape de l'action réciproque de CO_2 avec du carbone est l'adsorption de CO_2 sur la surface du carbone. Ce fait, trouvé encore par Langmuir (1), a été confirmé par Sihvonen (2), L. Meyer (3), M. Mayers (4), par Frank-Kamenetzky (5) et d'autres. L'adsorption de CO_2 par la surface du carbone est donc la première étape de la réaction CO_2+C:

$$CO_2 + C \rightarrow (CO_2)_{ads}. \qquad (a)$$

La majorité d'expérimentateurs, tout en établissant l'adsorption de CO_2 sur la surface du carbone, indiquent que cette adsorption est très solide et conduit à la formation des combinaisons superficielles. Sihvonen croît, par exemple, que par suite du processus primaire prennent naissance les cétogroupes et l'oxyde de carbone.

Langmuir, de même que L. Meyer, croît que la réaction primaire donne CO et un atome d'oxygène, bien fixe sur la surface du carbone et pouvant être considéré comme molécule CO. Frank-Kamenetzky indique également qu'il se forme, pour les températures de 600—750°C, un oxyde superficiel qu'il considère comme du CO adsorbé. Brewer et Reyerson (6), tout en admettant la présence d'une combinaison superficielle, supposent qu'elle est de la forme C_xO_y. Par conséquent, la plupart des auteurs indiquent qu'il se forme une combinaison superficielle qu'on peut supposer être de la forme d'un complexe du type C_xO_y, c'est-à-dire on peut considérer que la formation d'un complexe du type C_xO_y est la seconde étape de la réaction CO_2+C:

$$(CO_2)_{ads} + C \rightarrow C_xO_y. \qquad (b)$$

Afin de former l'équation cinétique de l'adsorption de CO_2 et de formation d'une combinaison superficielle, il faut établir l'ordre de ces deux étapes par rapport à CO_2.

Il est évident que la formation du complexe C_xO_y de CO_2 adsorbé et du carbone sera de l'ordre nul. Afin d'établir l'ordre de l'adsorption par rapport à CO_2, examinons les résultats des études de la réduction de CO_2 dans le vide ([1], [2], [3]). L'ordre nul du processus sommaire par rapport à CO_2, qu'ont établi ces auteurs, prouve définitivement que même en cas du vide élevé la vitesse de l'adsorption, même si elle a l'ordre différent de zéro, est telle qu'elle dépasse considérablement la vitesse des étapes suivantes de la réaction.

Il en résulte qu'en cas de pressions plus élevées on peut ne pas tenir compte de l'ordre de l'adsorption par rapport à CO_2, puisque dans tous les cas (dans l'intervalle étudié des températures) l'adsorption monomoléculaire sur toute la surface réagissante est assurée.

La destruction de la combinaison superficielle est l'étape suivante et finale de la réduction de CO_2. Par suite de la décomposition du complexe superficiel se forment des produits finals.

Puisque dans les conditions du vide élevé l'ordre du processus sommaire de réduction de CO_2 est nul, il est évident que la décomposition du complexe superficiel peut avoir lieu également avec l'ordre nul, c'est-à-dire sans action des molécules de CO_2 du volume gazeux, d'après le schéma de décomposition thermique du complexe superficiel:

$$C_xO_y \rightarrow nCO + C_z. \qquad (c)$$

Les expériences de Langmuir, effectuées avec le chauffage de CO_2, la température du fil du carbone étant basse, ont indiqué que dans certaines conditions les molécules gazeuses non adsorbées de CO_2 peuvent prendre directement part dans la formation de CO. La réaction CO_2+C allait plus rapidement lorsqu'on chauffait le gaz. Cela montre que la destruction du complexe superficiel peut se passer aussi en cas de l'action directe des molécules CO_2 du volume gazeux par le schéma suivant:

$$C_xO_y + CO_2 \rightarrow mCO + C_q. \qquad (d)$$

Il est évident que les conditions les plus favorables pour une telle destruction du complexe superficiel auront lieu pour la concentration ou pression de CO_2 élevées. Les expériences de Mayers, qui ont donné pour la pression atmosphérique l'ordre de réaction voisin du premier, prouvent entièrement ce schéma.

De plus, les expériences de Frank-Kamenetzky, effectuées pour les pressions comprises dans le domaine limité par les conditions des expériences de Langmuir, L. Meyer et M. Mayers, ont donné l'ordre de réaction compris entre zéro et unité. Cela est entièrement décrit par le schéma, suivant lequel la formation du complexe a l'ordre nul et sa destruction l'ordre premier.

L'ordre sommaire peut varier de l'ordre nul au premier, suivant le rapport des vitesses de formation et de destruction de la combinaison superficielle. La possibilité de destruction de la combinaison superficielle sans la participation des molécules CO_2 du gaz par l'équation (c) n'est évidemment pas exclue dans ce cas-là non plus.

Suivant les conditions, le rôle de chacune des formes de destruction du complexe peut devenir plus ou moins important. Mais la quantité minime des produits donnée par la réaction CO_2+C, même pour les températures très élevées dans le vide élevé, indique la difficulté de décomposition thermique de la combinaison superficielle, ce qui montre également la valeur très élevée de l'énergie d'activation de cette réaction (90000 cal.).

A la pression atmosphérique le rôle de décomposition thermique dans l'effet sommaire est très petit relativement à la réaction de décomposition de la combinaison superficielle avec l'action des molécules CO_2 du gaz. Par conséquent, le schéma que nous proposons pour le mécanisme du processus sommaire de la réduction de CO_2 par le carbone comprend trois étapes de réaction:

$$\text{1-ère étape: } CO_2 + C \rightarrow (CO_2)_{ads} \qquad (a)$$

$$\text{2-ème étape: } (CO_2)\,ads + C \rightarrow C_xO_y \qquad (b)$$

$$\text{3-ème étape: } C_xO_y \rightarrow nCO + Cz \qquad (c)$$

(décomposition thermique)

$$C_xO_y + CO_2 \rightarrow mCO + C_q \qquad (d)$$

(décomposition avec l'action des molécules CO_2 du gaz)

Il est évident que la vitesse sommaire du processus établi n'est définie que par les réactions (b) et (d).

Le processus établi suppose la présence de couverture monomoléculaire pratiquement de toute la surface réagissante par CO_2 adsorbé. Le rôle de la réaction (c) de décomposition thermique en cas de pression atmosphérique est insignifiant, ce qui permet de le négliger.

Admettons les notations suivantes: k_0—constante de vitesse de formation du complexe superficiel (Mo/sec. m^2); S—surface du carbone réagissant dans l'unité de volume (m^2/m^3); βx—surface dans l'unité de volume du combustible, occupée par la combinaison superficielle (m^2/m^3); k_1—constante de vitesse de destruction du complexe superficiel (m/sec); c_{CO_2}—concentration de CO_2 près de la surface réagissante du carbone.

Alors l'équation cinétique se présentera sous la forme suivante: 1) pour la réaction (b), ayant l'ordre nul par rapport à la concentration de CO_2

$$-\frac{dc_{CO_2}}{dt} = k_0 (S - \beta x) \quad (\text{Mo/sec. m}^3) \qquad (I)$$

et 2) pour la réaction (d), ayant le premier ordre par rapport à la concentration de CO_2

$$-\frac{dx}{dt} = k_1 \beta x c_{CO_2} \quad (\text{Mo/sec. m}^3). \qquad (II)$$

En régime établi du processus, les vitesses de formation et de destruction des combinaisons superficielles sont égales. Substituons la valeur trouvée de x dans l'équation (a). On obtient l'expression pour le processus sommaire de réduction de CO_2 par le carbone:

$$-\frac{dc_{CO_2}}{dt} = \frac{k_1 c_{CO_2} S}{1 + \frac{k_1}{k_0} c_{CO_2}} \quad (\text{Mo/sec. m}^3). \qquad (III)$$

La variation de la vitesse du processus avec la température peut être donnée en tenant compte de la variation des constantes des vitesses de formation et de décomposition des oxydes. Pour les conditions non isothermiques l'équation (III) s'écrira:

$$-\frac{dc_{CO_2}}{dt} = \frac{k_1^0 e^{-\frac{\varepsilon_1}{RT}} c_{CO_2} S}{1 + \frac{k_1^0 e^{-\frac{\varepsilon_1}{RT}}}{k_0^0 e^{-\frac{\varepsilon_2}{RT}}} c_{CO_2}}. \qquad (IV)$$

«L'énergie d'activation», qu'on mesure généralement au cours des études expérimentales, n'exprime que l'influence sommaire de la température sur k_1 et k_0. C'est précisément cela qui explique les divergences des valeurs absolues de cette grandeur trouvées par des différents auteurs pour la même espèce du combustible, puisque des études correspondantes ont été effectuées, comme règle, avec des températures différentes. Il est évident que «l'énergie d'activation» mesurée peut varier de ε_1 à ε_2, suivant le rôle de chacune des étapes dans le processus sommaire. Pour cela l'équation, employée généralement par les expérimentateurs pour déterminer l'énergie d'activatoin, n'est qu'une équation empirique.

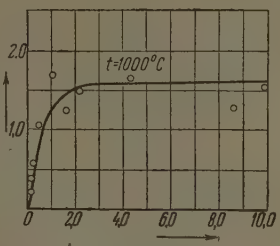


Fig. 1. La vitesse de réduction de CO_2 par le charbon d'électrodes en fonction de la vitesse moyenne effective du courant de gaz (faisceau de tiges d'électrodes de 5.5 mm de diamètre). Ligne continue correspond à la courbe théorique, ○—les points aux données expérimentales.

En analysant les équations (III) et (IV), on peut noter que l'ordre sommaire du processus par rapport à CO_2 peut varier dans les conditions pratiques de l'ordre nul jusqu'au premier, lorsque le rapport $\frac{k_1}{k_0}$ décroît. En cas des calculs techniques des appareils, où a lieu la réaction CO_2+C, l'équation (III) peut être simplifiée.

Pour les valeurs $\frac{k_1}{k_0} c_{CO_2}$ beacoup moindres que l'unité, le calcul du processus peut se faire à l'aide de l'équation du premier ordre

$$-\frac{dc_{CO_2}}{dt} = k_1 c_{CO_2} S. \qquad (V)$$

Inversement, pour les valeurs de $\frac{k_1}{k_0} c_{CO_2}$ de beaucoup supérieures à l'unité, l'équation de la vitesse du processus correspond à l'ordre nul, c'est-à-dire l'on a

$$-\frac{dc_{CO_2}}{dt} = k_0 S. \qquad (VI)$$

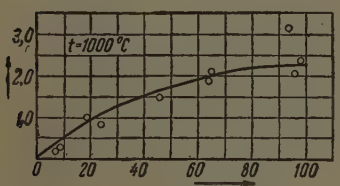


Fig. 2. La vitesse de réduction de CO_2 par le charbon d'électrodes en fonction de la concentration moyenne effective de CO_2 (faisceau de tiges d'électrodes de 5.5 mm de diamètre; l=156 mm). La concentration moyenne effective de CO_2 en % (de volume).

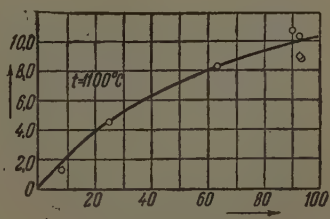


Fig. 3. La vitesse de réduction de CO_2 par le charbon d'électrodes en fonction de la concentration moyenne effective de CO_2 (faisceau de tiges d'électrodes de 5.5 mm de diamètre; l=156 mm).

L'équation cinétique obtenue a été vérifiée par les données expérimentales. La description détailleé de la méthodè employée de l'installation expérimentale utilisée, de même que l'analyse des résultats obtenus, sont donnés dans le compte rendu de V. S. Altschuler (Laboratoire des gazogènes de l'Institut Énergétique de l'Académie des Sciences, 1939).

Les expériences ont été effectuées dans les conditions, lorsque l'influence de la vitesse de transport de CO_2 vers la surface du carbone sur la vitesse sommaire du processus était réduite au minimum, c'est-à-dire dans les conditions du domaine dit «cinétique».

Dans le domaine cinétique la concentration de CO_2 dans le courant du gaz approche la concentration de CO_2 au voisinage de la surface du carbone, ce qui a pratiquement lieu lorsqu'on élève la vitesse linéaire du courant gazeux jusqu'à la valeur, pour laquelle la vitesse sommaire du processus ne varie presque plus. Pour les conditions de nos expériences cela est bien montré sur la fig. 1.

Les résultats de vérification de l'équation cinétique obtenue sont présentés par les graphiques sur les fig. 2 et 3, où les lignes unies représentent les courbes construites d'après les équations déduites, et les points correspondent aux données expérimentales.

La coïncidence satisfaisante des points expérimentaux avec les courbes théoriques confirme la possibilité d'appliquer l'équation cinétique obtenue, et par suite, l'exactitude du schéma proposé de la réaction de réduction de CO_2 par le carbone du combustible.

Pour la vérification expérimentale supplémentaire des équations cinétiques déduites il est très important d'étudier la marche de la réaction CO_2+C sur les espèces différentes du carbone dans un grand intervalle de variation de la concentration de CO_2 et de température de réaction.

Manuscrit reçu
le 25. VI. 1940.

LITTÉRATURE CITÉE

[1] Langmuir, Journ. Amer. Chem. Soc., **37**, 1139 (1915). [2] Sihvonen, Trans. of the Faraday Soc., **34**, VIII (1938). [3] L. Meyer, ibid., **34**, VIII (1938). [4] M. Mayers, Journ. Amer. Chem. Soc., No. 1 (1934). [5] Frank-Kamenetzky, C. R. Acad. Sci. URSS, XXIII, No. 7 (1939). [6] Brewer and Reyerson, Ind. a. Eng. Chem., No. 7, 9 (1934).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

CHEMIE

AKTIVIERUNG SAURER HOCHOFENSCHLACKEN UND DARSTELLUNG KLINKERLOSEN ZEMENTS

Von P. P. BUDNIKOW, korrespondierendem Mitglied der Akademie, und W. K. GUZEW

Granulierte Hochofenschlacken können wie Glas als stark unterkühlte, eine sehr hohe Viskosität besitzende Flüssigkeiten angesehen werden. Die Konstitution granulierter Schlacken bildet ein Problem, von deren Lösung wir noch ziemlich weit entfernt sind. Das Röntgendiffraktionsbild des Glases besteht aus einzelnen verwachsenen Ringen (Halo), die auf eine gewisse organisierte Struktur hinweisen.

Wenn die Körner granulierter Schlacke unter dem Mikroskop im polarisierten Licht beobachtet werden, wird das Glas als aus durchsichtigen isotropen Ringen bestehend gefunden und einige davon können braune und schwarze Körner da aufweisen, wo das Entstehen von Kristallen begann.

Brechungsindexe des Glases können zwischen 1.635 und 1.67 variieren. Nach Guttmann [1] besitzen nur granulierte Schlacken mit dem Brechungsindex 1.65 und mehr eine hohe Hydraulizität. Ausser Glas können in granulierter Schlacke anisotrope kristallinische Teilchen mit einem Brechungsindex von über 1.67 beobachtet werden.

Granulierte Hochofenschlacken werden durch verborgene hydraulische Eigenschaften gekennzeichnet — beim Zusammentreffen feinzerkleinerter Schlacke mit Wasser geht die Bildung hydratisierter Silikate und Aluminate sehr langsam vor sich hin und dabei erhärtet sie während einer langen Zeit. Als Aktivatore verborgener hydraulischer Eigenschaften des glasigen Stoffes der granulierten Hochofenschlacken kann eine kleine Menge Kalk oder Kalk abspaltender Stoffe (z. B. Portlandzementklinker) oder eine kleine Menge irgendeiner anderen Lauge oder Magnesiumsulfat, herbeigefügt werden.

Durch unsere Untersuchungen wurde es bewiesen [2], dass Kalziumsulfat (Gips Dihydrat, Halbhydrat, Anhydrit und Estrichgips), bei 800—900° gebrannter Dolomit oder eine Mischung letzteren mit Kalziumsulfat starke Aktivatore der verborgenen hydraulischen Eigenschaften der Hochofenschlacken sind.

Die Verwendung von Kalk als Aktivator gab einen Grund anzunehmen, dass granulierte Hochofenschlacke einen puzzolanischen Stoff bildet. Die puzzolanische Theorie kann aber nicht die ziemlich starke Aktivierung basischer granulierter Schlacken mittels Sulfaten erklären. Basische granulierte Hochofenschlacke kann als ein Zement mit verborgener Aktivität angesehen werden, das für die Veräusserung hydraulischer Eigenschaften einer «katalytischen» Einwirkung mittels der genannten Zuschläge benötigt.

Die Menge des zur basischen granulierten Schlacke während der ersten 3—4 Tage zugegebenen Kalkes fällt nach dem Anmachen mit Wasser und wächst wieder darauf, die mechanische Festigkeit des Schlackenzementes aber fällt dagegen ([3]). Die Aktivierung der Schlacke mittels einer Zugabe einer kleinen Menge von Portlandzement kann durch die Wirkung freien Kalkes erklärt werden, der während der Hydratation des Portlandzements abgespaltet wird. Der Einfluss von Estrichgips (oder einer Mischung von Kalziumsulfat mit Kalk) kann durch die katalytische Zusammenwirkung von Kalk und Kalziumsulfat erklärt werden.

Zur Herstellung von klinkerlosem Schlackenzement werden, unseren Untersuchungen gemäss, basische granulierte Hochofenschlacken verwendet, dabei wird als aktivierender Zusatz Kalziumsulfat und bei 800—900° gebrannter Dolomit (d. h. bei einer Temperatur, bei der $MgCO_3$ gänzlich dekarbonisiert wird und $CaCO_3$ fast ungelöst bleibt) eingeführt. Die dabei erhaltenen Zemente besitzen eine hohe mechanische Festigkeit ([4]) und eine erhöhte Beständigkeit in agressivem Wasser ([5]).

Saure Hochofenschlacken finden Verwendung als hydraulische Zuschläge, sowie auch für die Herstellung von Kalkschlacken und Gips-Schlackenzemente ([6]). Im letzten Falle wird die Schlacke durch Kalziumsulfat aktiviert, und als alkalischer Komponent wird Portlandzementklinker oder gelöschter Kalk hinzugefügt. Doch besitzen die auf solche Weise erhaltenen Zemente keine hohen mechanischen Eigenschaften.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass klinkerloser Zement mit erhöhter mechanischer Festigkeit aus sauren Hochofenschlacken erhalten werden kann, vorausgesetzt, dass als Aktivator Kalziumsulfat im Gemenge mit CaO und MgO oder anstatt der letzteren Dolomit verwendet wird, der bei einer solchen Temperatur gebrannt wurde, bei der $MgCO_3$ völlig dekarbonisiert und CO_2 aus $CaCO_2$ in wesentlicher Menge abgeschieden worden ist.

Die chemische Analyse der von uns verwendeten Schlacken war die folgende (in %):

SiO_2 —31.16	CaO—33.40	SO_3—0.35
Al_2O_3—20.25	MgO— 4.00	S—0.23
Fe_2O_3— 1.20	MnO— 3.95	

Gips wurde bei 600° gebrannt, Dolomit etwas über 1000°. Granulierte Hochofenschlacke der obenerwähnten Zusammensetzung wurde zusammen mit 10—15% Anhydrits und 5% gebrannten Dolomits vermahlen.

Die Mahlfeinheit der Zemente war: Rückstand auf Sieb 900 Öffn./cm²—0.5—0.8% und auf Sieb 4900 Öffn./cm²—4.8—5.4%. Gleichzeitig wurden zum Vergleich Schlackenzemente zusammen mit Hochofenschlacke der obenerwähnten Zusammensetzung mit Beifügung von Anhydrit und gelösch-

Zementgehalt in %					Zeitwiderstand in kg/cm² (Lösung 1:3)					
					Ausstreckung			Zusammendrücken		
Schlacke	$CaSO_4$	$Ca(OH)_2$	Portland-klinker	Gebrannter Dolomit	7 Tage	28 Tage	3 Mon.	7 Tage	28 Tage	3 Mon.
88	10	2	—	—	4.5	4.8	10.1	40	58	125
87	10	3	—	—	6.2	10.0	13.8	60	140	180
85	10	5	—	—	6.3	9.2	12.6	51	120	170
83	15	2	—	—	—	9.3	12.4	—	80	126
82	15	3	—	—	7.1	12.0	10.3	60	106	185
80	15	5	—	—	7.3	10.1	15.2	70	90	155
85	10	—	5	—	5.0	12.1	22.3	52	166	258
85	10	—	—	5	8,3	19.3	36.8	128	283	368
80	15	—	—	5	7.7	21.1	33.3	113	308	408

tem Kalk, Anhydrit und Portlandzementklinker vermahlen. In der Tabelle werden die Versuchsergebnisse der von uns erhaltenen Zemente wiedergegeben. Die angeführten Angaben zeigen, dass die günstigsten Ergebnisse bei einer Aktivierung saurer Schlacken mit Anhydrit in Mischung mit über 1000° C gebranntem Dolomit erzielt werden.

Beim Untersuchen der Reaktion der gegenseitigen Wirkung granulierter Hochofenschlacke mit Kalziumsulfat unter dem Mikroskop beobachteten wir Neubildungen, die in den Ausgangsstoffen nicht vorhanden waren (7). CaO bei der Anwesenheit von Kalziumsulfat trägt der Bildung von Kalzium Hydrosulfoaluminaten bei, das günstige Folgen für die Festigkeit des Zements hat. Dabei, je nach den Beziehungen des Mittels und der Hydratationsbedingungen, sind die folgenden Neubildungen möglich: $3CaO.Al_2O_3.CaSO_4$ aq, $2CaO.Al_2O_3.2CaSO_4.aq$, $CaO.Al_2O_3.CaSO_4$. aq u. and. (8). Aktive Kieselerde bildet bei der Zusammenwirkung mit Kalk Kalziumhydrosilikat nach der Reaktion:

$$SiO_2 + Ca(OH)_2 + nH_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O.$$

Das sich hydratisierende Magnesiumoxyd bildet ein alkalisches Mittel, das die Festigkeit des Zements wesentlich erhöht, indem es die Vorgänge der Hydratation der Schlacke beschleunigt.

Unregelmässigkeiten der Volumänderungen für die Rechnung des Löschens von CaO im gebrannten Dolomit werden nicht beobachtet, da die Anwesenheit von Kalziumsulfat, wie es unsere Untersuchungen gezeigt haben (9), dieser Erscheinung vorausbeugt. Die Eigenschaft des Kalkes, bei Feinmahlung in Anwesenheit von Kalziumsulfat ohne eine sichtbare Erhöhung des Volumens zu löschen, erlaubt klinkerlosen Zement aus durch ungelöschten Kalk aktivierten Schlacken herzustellen, was nicht nur die Kosten der Zementherstellung ermässigt, sondern auch die Rohmaterialienvorräte wesentlicih erweitert.

Eingegangen
den 13. VI. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] A. Guttmann, Zement, **15**, 527, 547 (1926). [2] P. P. Budnikov, C. R. Acad. Sci. URSS, No. 5 (1934). [3] M. Troivers, Verre et Silicates, 8, No. 5—7, 53—57, 61—64, 73—75 (1937). [4] П. П. Будников и Л. Г. Гулинова, Укр. химич. журн., IX, № 1, 125; № 2, 275; № 3—4, 479 (1934); P. P. Budnikov, Chimie et Industrie, **31**, № 5, 1028 (1934); Zement, № 24, 325; № 25, 342; № 26, 359 (1933); Concrete (USA), XLII, № 6, 35 (1934); П. П. Будников, Гипс и его исследование, Изд. АН СССР (1933). [5] П. П. Будников и В. К. Гузев, ЖПХ, XI, № 6, 894 (1938). [6] S. Klein, Rev. Mat. Constr. (Chaux), № 285, p. 193, nach Chimie et Industrie, **30**, 1362 (942D) (1933); E. Dupuy, IX Congrès Ind. de Chim. Pure et Appl., Madrid, V, III, 359 (1934). [7] П. П. Будников, Цемент, № 2, 24 (1936). [8] F. Kaempfe, Die Reaktion zwischen Hochofenschlacke und Wasser, Berlin-Charlottenburg (1934); L. Blondiau, Tonind.-Ztg., № 47/48, 59 (1935); L. Forsen, Die chemische Wirkung von Gips und anderen Bindezeitverzögerern auf Portlandzementklinker, 53 ordentliche Generalversammlung des Vereins Deutsch. Portland-Cement Fabr. (E. V.) (1930). [9] П. П. Будников и В. К. Гузев, Коммун. строит., № 9, 8 (1938).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

CHEMICAL PHYSICS

ON THE CONDITIONS GOVERNING STEADY BURNING OF EXPLOSIVE SUBSTANCES

By A. F. BELAYEV

(Communicated by N. N. Semenov, Member of the Academy, 10. VII. 1940)

If the gases generated during the combustion of an explosive substance are leaving the surface of the latter at a velocity v, then, according to the law of conservation of momentum, the following rise in pressure must occur at the surface:

$$p - p_0 = \rho v^2 \qquad (1)$$

where ρ is the gas density. Since ρ relates to the gases moving away from the surface under the pressure p_0, we have:

$$\rho = \rho_0 = \frac{p_0 \mu}{RT} \qquad (2)$$

where p_0 is the external pressure, μ is the mean molecular weight of the departing gases and T is their temperature.

Now, we shall take into account that the speed of burning of the explosive substances augments with the rise in pressure. Then the rise in pressure (1) at the burning surface must cause a slight increase in the burning velocity which in its turn will lead to a still higher rise in pressure, and so forth. It may be shown that under certain definite conditions there will be ultimately established a state of equilibrium, and the pressure at the surface will acquire a constant value [by the by, with small burning velocities the final value of the pressure rise will scarcely differ from the value computed from the equation (1)] and that under certain other conditions the burning will not be stable, but must be gradually accelerating.

Let us assume that the velocity of burning of an explosive substance is a linear function of pressure:

$$v' = bp \text{ cm/sec}; \qquad (3)$$

then

$$v'\rho_1 = m_1 = \rho_1 bp \text{ g/sec. cm}^2 \qquad (4)$$

where ρ_1 is the density of the condensed phase. The equation (4) determines the mass of the gases generated by the burning of the explosive substance per second and per unit area (influx of gas).

After a small transformation of the equation (1) we obtain:

$$v\rho_0 = m_2 = \sqrt{(p - p_0)\rho_0} \text{ g/sec. cm}^2. \qquad (5)$$

The equation (5) determines the mass of the gases departing from the surface per second and per unit area (efflux of gas). In the case of steady burning the influx of gases must be equal to their efflux, that is:

$$m_1 = m_2, \quad \text{or} \quad \rho_1 b p = \sqrt{(p - p_0)\rho_0} \tag{6}$$

whence, taking into account the relation (2), we obtain:

$$p = p_0 \frac{1}{2\alpha}(1 \pm \sqrt{1 - 4\alpha}) \tag{7}$$

where

$$\alpha = \frac{R \cdot T \cdot \rho_1^2 b^2}{\mu}.$$

Of the two signs standing before the radical sign we must take the negative sign. The expression (7) may be expanded in a series of the following type:

$$p = p_0(1 + \alpha + 2\alpha^2 + 5\alpha^3 + \ldots). \tag{7a}$$

The equations (7) or (7a) give the value of pressure (account being taken of the linear dependence of the burning velocity upon the pressure) at the surface of the burning explosive substance at external pressure p_0, for the case of stable burning.

With $\alpha < \frac{1}{4}$ the equation (7) gives real values of p; with $\alpha > \frac{1}{4}$, the value of the square root becomes imaginary. With $\alpha > \frac{1}{4}$ and with any value of the external pressure p_0, the influx of the gases will be greater than their efflux, the pressure at the surface will continuously rise and with it also the velocity of burning.

The boundary for a steady state of burning is the condition $\alpha = \frac{1}{4}$; in this case the equation (7) acquires the appearance:

$$p = 2p_0. \tag{8}$$

Consequently, in the particular case of burning in open air the burning can be stable under the condition only that the pressure at the burning surface does not exceed two atmospheres.

We shall try to calculate the rise in pressure for some particular cases of burning in open air. Let $\rho_1 = 1.5$, $T = 2500\,°\text{K}$, $\mu = 30$ and let the burning velocity at 1 atm. pressure be 0.1 cm/sec. (it means that with the absolute unit of pressure $b \approx 10^{-7}$ cm/sec.). It is easy to see that these data correspond fairly well to the case of burning in open air of such materials as gelatin dynamite, colloidal propellants, methylnitrate, etc.

On substituting the above data into the equation (7) we obtain $p \approx 1.000\,2$ atm., i. e. with these data the pressure at the burning surface is raised by a few ten-thousandths of one atmosphere only [in this connexion the conclusions drawn by the writer fully coincide with those made by K. Andreyev (1)]. If we imagine that there burns a substance with the same values of ρ_1, T and μ, but the velocity of burning with 1 atm. is 1 cm/sec., then the rise in pressure at the burning surface will be about 0.02 atm. The critical value of the burning velocity (with $\alpha = \frac{1}{4}$) at 1 atm. for a substance having the above indicated values of ρ_1, T and μ will be of the order of 5 cm/sec. (at this, the velocity of outgoing gases must be of the order of the velocity of sound). Thus, with $\rho_1 = 1.5$, $T = 2500°$ K and $\mu = 30$ the substance can burn at constant velocity in the case only when its burning

velocity at atmospheric pressure does not exceed 5 cm/sec., otherwise, with any initial pressure the burning will be unstable, i. e. it will be accelerating.

If we take a more dense material having a higher burning temperature, then the critical speed of burning will be lower. Thus, if we take $\rho_1 = 4.5$ and $T = 5000°$ K the critical speed at the external pressure of 1 atm. will be of the order of 1 cm/sec. only.

Up to this point we had understood under the velocity v the speed of normal propagation of the burning (i. e. the rate of deepening of the reaction in parallel layers into the substance). It must be noted that with almost all of the explosive substances capable of burning the normal burning velocity is by far lower than the above indicated critical speeds. More than that, from the point of view of the precised thermal theory of burning derived by Zeldovitch and Frank-Kamenetzky (2), with the explosive substances which burn in gaseous phase [and the major part of the secondary explosive substances (3) belong to this category] the above indicated critical velocity of burning at atmospheric pressure is impossible, except for the case where the ignition is accomplished by agents whose velocity by far exceeds the velocity of sound (quanta of light, electrons, etc).

However, it is not difficult to show that under certain conditions, and in the first place when the state of burning in parallel layers has been disturbed, the critical burning velocity can be readily attained, although the rate of normal burning is relatively small.

Let us imagine that a crystalline explosive substance is burning and that the combustion has partly penetrated into the pores of the substance. Then, obviously, the surface of the flame front will be much extended, and as a result the amount of the burnt substance will be correspondingly increased.

In the case of a liquid or molten explosive substance a similar acceleration of combustion and increase in the mass of generated gases must take place during the period of inception of the boiling of the substance (4), that is, when there is violent agitation, and a considerable amount of bubbles of vapour are formed, along which the combustion penetrates deeply into the mass of the liquid. It should be noted that, according to the opinion of Shtsholkin (5), in the case of gas mixtures also the fundamental cause of the transition from deflagration to detonation is the turbulization of the mixture which causes a sharp increase in the burning velocity.

We may assume that (6)

$$\frac{m}{m_0} = \frac{S}{S_0} \tag{9}$$

where m_0 is the mass of gases generated under the condition of burning proceeding in parallel layers; S_0 is the surface of the flame front under the same condition (S_0 is obviously also the cross-section area of the stream of outgoing gases); S is the surface of the flame front when the combustion in parallel layers is disturbed; m is the mass of gases generated in this latter case.

It follows from the formula (9) that when the normal burning velocity of a substance burning at atmospheric pressure in parallel layers is of the order of 0.1 cm/sec., then in order to obtain the critical velocities of burning (or, to speak more strictly, the critical speeds of the gas generation) the surface of the flame front must be augmented as much as 20—50 times.

There can be no doubt that with a sufficiently great disturbance of the procedure of burning in parallel layers with violent boiling or in the presence of pores which permit the flame to penetrate deeply into the mass of the substance, the above-mentioned extension of the flame front may readily occur and cause a «stall» (or «disruption») in the stable burning process, a continuous increase in velocity and, as a final result, the development

of detonation. It is very probable, among other things, that this «stall» is one of the principal ways of transition from the deflagration to detonation; in any event, a study of combustion of boiling explosive substances justifies such a supposition.

The calculations and considerations disclosed in this communication are, of course, of a rather schematical nature. At the outset we had assumed that the burning velocity $v=bp$; however, the possibility of broad application of this law remains unproved. If we take into consideration the probable non-linearity of the relationship between v and p, the deviation of the gases from the ideal state, the fall in temperature owing to the transformation of a portion of energy into the kinetic energy of moving gases and several other corrections, then the numerical values computed as a first approximation can undergo a change, but, nevertheless, the general appearance of the equations must remain unaltered under the condition that the exponent at p is greater than 0.5.

The calculation was made under the assumption that the gases can depart in one direction only. If account be made of the possibility of their movement in lateral directions, then the critical values of velocities may prove to be higher. On the contrary, if the substance burns within an unclosed envelope, the walls of this envelope must create an additional resistance to the withdrawal of gases and facilitate the «stall» or the «disruption» of the stable burning. In the latter case calculation must, of course, be carried out by slightly modified methods. It must also be remembered that, with a deep penetration of combustion into the mass of the substance, local pressure risings can occur in individual pores or in the bubbles, which can materially exceed the general pressure rise at the surface.

All these factors must naturally be taken into account at subsequent development of the theory. The main purpose of the present communication was to show that under certain definite conditions the impossibility of stable burning and the transition from deflagration to detonation may be explained by simple laws of gas dynamics.

The author expresses his gratitude to Prof. J. Zeldovitch and J. Chariton for their very valuable advice when discussing the subject of this work.

Institute of Chemical Physics.
Academy of Sciences of the USSR.
Leningrad.

Received
12. VII. 1940.

REFERENCES

[1] К. Андреев, Сб. статей по теории взрыв. веществ, 57 (1940). [2] J. Zeldovitch and D. Frank-Kamenetzky, Acta Physicochimica, 9, 341 (1938). [3] A. Belayev, ibid., 8, 713 (1938). [4] A. Belayev, C. R. Acad. Sci. URSS, XXIV, 254 (1939). [5] K. Shtsholkin, ibid., XXIII, 636 (1939). [6] H. Goward and F. Hartwell, J. Chem. Soc., 1996, 2676 (1932).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

GEOCHEMISTRY

A PHYSICAL-CHEMICAL STUDY OF THE PROPERTIES OF MANGANESE SLIME CARRIED OFF BY THE KVIRIL RIVER

By D. I. ERISTAVI

(Communicated by A. E. Fersman, Member of the Academy, 13. VI. 1940)

In dressing manganese ore after the wet method at the Chiatury Ore-Dressing Works, thickened slimes are not regenerated on account of technical difficulties. After dressing the tailings from the manganese ore are dumped into the Kviril river, as a result of which a large quantity of manganese is lost. Thus, for instance, in 1938 the Chiatury Manganese Trust extracted over 1 650 000 tons of manganese ore. In dressing the ore, about 40% of it is lost.

The Kviril river was investigated from a physical-chemical point of view in order to find out the state of the main «impurities» in its waters, to establish the quantity of coarse suspended matter and the kinetics of its precipitation and to make a study of the concentration of certain valuable components which could possibly be regenerated from the river.

The water samples studied by the authors were taken from the Kviril river at five points: Darkvety, Chiatury, Salieti, Rkvia and Martotubany. The following properties were studied for water samples taken from various sections of the river's bed: transparency, colour, specific electroconductivity, pH and quantity of suspended matter. The results of these experiments are given in Tables 1 and 2.

Table 1

Section	Transparency per cm	Colour per ml	pH	Specific electroconductivity in mho	Weighed matter, g/l
Darkvety . .	29.5	2.8	7.55	2.10×10^{-4}	0.0061
Chiatury . .	0.55	2.95	7.61	2.35×10^{-4}	2.1815
Salieti . .	0.80	2.95	7.64	2.32×10^{-4}	1.1528
Rkvia	0.95	2.96	7.63	2.30×10^{-4}	0.9021
Martotubany . .	1.15	2.95	7.64	2.30×10^{-4}	0.725

Date of test—16. IX. 1939

Table 2

Section	Transparency per cm	Colour per ml	pH	Specific electroconductivity in mho	Weighed matter, g/l
Darkvety . .	28.9	2.75	7.79	2.04×10^{-4}	0.0158
Chiatury . .	0.95	2.90	7.69	2.25×10^{-4}	1.4470
Salieti . .	1.20	2.92	7.66	2.24×10^{-4}	0.9678
Rkvia .	1.35	2.94	7.66	2.20×10^{-4}	0.8250
Martotubany .	1.58	2.90	7.66	2.19×10^{-4}	0.5026

Date of test—19. IX. 1939

Table 3 gives an analysis of the suspended matter in samples taken 19. IX. 1939. The results are given in per cent per absolutely dry substance.

Table 3

Section	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Mn	MnO	MnO_2	SO_3	P_2O_5
Chiatury .	38.02	4.40	9.71	0.32	2.71	1.60	23.10	4.19	31.45	0.40	0.41
Salieti . .	38.99	4.34	10.10	0.31	2.73	1.75	22.27	3.50	30.99	0.43	0.40
Rkvia . . .	37.14	4.46	10.24	0.34	3.17	1.27	23.11	3.82	31.91	0.53	0.42
Martotubany . . .	39.56	4.65	10.60	0.34	3.18	1.82	20.97	3.90	28.44	0.43	0.53

Chemical analysis of the suspended matter from various sections of the Kviril river shows that the manganese content decreases very little down-current ,which means that the gauge admixtures are carried away by the water just as well as the manganese, and that under natural conditions no differentiative coagulation is observed in the various components of the slike.

Table 4 gives a comparatively full analysis of a sample taken 21. IX. 1939 from the Kviril river below all the ore-dressing factories in Chiatury.

Table 4

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Mn	MnO	MnO_2	BaO	NiO	CoO	V_2O_5	Cr_2O_3	SO_3	P_2O_5
37.71	4.51	9.20	0.33	2.56	1.68	24.10	3.90	33.40	1.26	0.11	0.025	0.03	—	0.25	0.43

Table 4 shows that manganese slime contains such metals as titanium, vanadium, cobalt, nickel and other elements of the fourth series of the periodic system. This is interesting not only from the point of view of geochemistry. If the vanadium, cobalt and nickel content in the slimes proves to be stable, then this circumstance is quite important, since there may prove to be large quantities of these metals in the deposit.

Table 5

Section	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Mn	MnO	MnO_2	BaO	NiO	CoO	V_2O_5	Cr_2O_3	SO_3	P_2O_5
Chiatury . . .	49.87	3.18	8.57	0.36	2.51	0.87	17.35	3.38	23.32	3.51	0.081	0.026	traces	—	0.21	0.37
Rkvia	46.35	4.43	12.29	0.34	3.75	1.98	14.34	3.29	19.49	1.62	0.076	0.019	0.041	—	0.32	0.35
Martotubany.	56.64	4.62	12.25	0.45	6.27	1.78	6.95	1.35	9.35	0.80	0.042	0.013	traces	—	0.20	0.22

The results of a chemical analysis of the bank deposits, given in Table 5, show that the manganese content in the bank deposits of the Kviril river decreases in the direction of the river's flow.

A sedimentometric analysis was made in order to determine the dimensions of the suspended particles and to find their distribution functions. The sample of water and suspended matter from the Kviril river was taken the 20. IX. 1939.

The method employed in this analysis was that of direct weighing of the sedimenting suspension. First of all, the specific weight of the suspended matter (manganese slime) was determined by means of the picnometer, and

found to be 3.03. Then the suspension was analyzed sedimentometrically, without the use of stabilizers and coagulators. On the basis of the data obtained sedimentation curves were plotted, and one of the latter is given in Fig. 1 which shows that the suspension under investigation is polydispersional; in the co-ordinate system (time—quantity of settled matter) this curve shows that the quantity of settled matter is not in direct proportion to time. The left half of the curve shows that the settling velocity of the coarse dispersion particles is quite high, the right half characterizes the settling of the fine dispersion particles.

Table 6

Time in seconds	Radius limits, $r \times 10^{-4}$ cm	Weight of fraction in g	% content of fraction
0—50	over 27.5	0.0015	1.6
50—110	27.5—18.5	0.0025	2.8
110—160	18.5—15.5	0.0015	1.6
160—230	15.5—13.0	0.0147	15.7
230—315	13.0—11.0	0.0159	17.0
315—460	11.0— 9.0	0.0174	18.9
460—605	9.0— 8.0	0.0095	10.2
605—838	8.0— 6.8	0.0130	13.9
838—1200	6.8— 5.7	0.0062	6.6
1200—2250	5.7— 4.1	0.0062	6.6
2250	under 4.1	0.0051	5.4
		0.0935	100.0

Table 6 gives the percentage composition of particles of various radii.

These figures show that after 20 minutes' standing 88% of the suspended particles have already fallen out, and that another 15 minutes standing is necessary for the next 6% to fall out. The last 6% of depositable matter requires even more time, not less than 30 min. The percentage content found for particles of various radii shows that particles from $r = 15.5 \times 10^{-4}$ cm to $r = 6.8 \times 10^{-4}$ cm make up about 75% of the whole quantity of suspended matter.

The observations made by the author pertain to only one season, but they make it possible to understand, however approximately, the nature of the suspended particles carried off by the Kviril river. Continuous changes in the regime of the Kviril river, in its tides and in the nature of the ore dressed at the ore-dressing factories require continuous and quite prolonged observation.

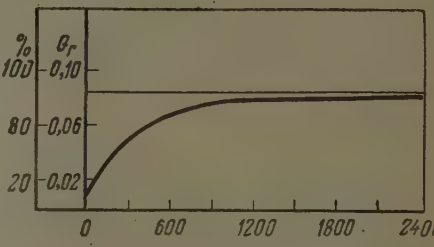


Fig. 1.

1. A physical-chemical study has been made of the manganese slimes carried off by the Kviril river.

2. While studying samples of water taken from the Kviril river at Chiatury, Salieti, Rkvia and Martotubany, it was established by means of dispersion analysis that the dispersed system under investigation, which consists of water as the dispersion medium, in which particles of manganese slike are distributed as the dispersed phase, should be considered a suspension.

3. If we take the quantity of suspended manganese slime particles in the water sample taken at Chiatury as 100%, the quantity of suspended particles at Martotubany will be approximately 35%, not taking into account dilution of the waters of the Kviril river.

4. The specific electroconductivity and the colour of the Kviril river water after filtering is a little lower at Darkvety than at Chiatury, which shows that part of the soluble substances come into the river below all the ore-

dressing factories. From Chiatury to Martotubany the colour and electroconductivity of the water remain constant.

5. The pH value of the filtered water of tests taken from the section Darkvety-Martotubany varies from 7.5 to 7.8. This shows that above and below the ore-dressing factories the waters of the Kviril river are weakly basic all along the river.

6. The particles suspended in water taken from the section Chiatury-Martotubany have been analyzed chemically. It has been established that the quantity of manganese in the suspended product remains constant all along this section and equals about 22% in terms of metallic manganese.

7. A sedimentometric analysis has been made after the method of direct weighing of the sedimenting suspension.

8. Graphic constructions and calculations of the sedimentation curves obtained established that 88% of the suspended particles fall out after 20 minutes stand and that no less than one hour more standing is required for the last 12% to fall out. From the distribution curves it has been established that the equivalent radius of the manganese slime particles for Chiatury is $r_{max}=7.41\times10^{-4}$ cm, for Salieti $r_{max}=6.5\times10^{-4}$, for Rkvia $r_{max}=5.7\times10^{-4}$ cm and for Martotubany $r_{max}=5.2\times10^{-4}$ cm.

Institute of Chemistry.
Georgian Branch of the Academy
of Sciences of the USSR.

Received
20. VI. 1940.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

BIOCHEMIE

ÜBER DIE KRISTALLISATION VON ALBUMIN AUS KANINCHEN- UND MENSCHENSERUM

Von TADEUSZ BARANOWSKI

(Vorgelegt von A. N. Bach, Mitglied der Akademie, den 18. VII. 1940)

Als es im 1894 Gürber (1) gelang das Albumin aus Pferdeserum auszukristallisieren, schien es, dass mit Hilfe dieser Methode auch das Serumalbumin von anderen Tierarten sich in kristalliner Form darzustellen lässt. Nach Gürber sollen Albuminkristalle bisweilen auch aus Kaninchenserum erhalten werden können, niemand konnte aber diesen Befund bestätigen. Im Gegenteil, Krüger (2), Schulz (3) und andere hatten trotz vielfacher Bemühungen nie ein kristallisierendes Albumin aus Kaninchenserum erhalten können. Auch bei allen übrigen bisher untersuchten Blutarten fielen die Versuche negativ aus. Nur Gruzewska (4) gibt an, dass man aus dem Oxalatplasma von Meerschwein, Katze, Ochs, Natter Albuminkristalle erhalten könne durch Abkühlung des mit Ammoniumsulphat halbgesättigten Plasma auf —1° während 24 Stunden und darauf folgendes Einbringen in Zimmertemperatur. Was die Kristallisation des Serumalbumins von Kaninchen und Mensch anbetrifft, herrschte bisher die Meinung, dass sie von niemandem sicher durchgeführt wurde.

Während der Untersuchungen über die Muskelproteine gelang es mir auf einfacher Weise einige lösliche Eiweisskörper auszukristallisieren (5). Die Leichtigkeit, mit der ich die Myogene aus Muskelextrakten von einigen Tierarten darzustellen vermochte, hat mich angeregt dieselbe Methode für Kristallisation von Serumalbuminen zu verwenden. Die vorläufige Versuche habe ich mit Pferdeserum durchgeführt. Es zeigte sich, dass mit Hilfe dieser Methode man das Pferdealbumin viel leichter und viel sicherer auskristallisieren kann, als es mit bisherigen Methoden möglich war. Durch die Anwendung von Ammoniumsulphat konnte ich die Kristallisation in wenigen Sekunden in Zimmertemperatur hervorrufen. Auch alte Sera, welche zwei Wochen bei Zimmertemperatur gestanden sind, lieferten das kristallisierte Albuminum, was bisher nach den klassischen Vorschriften nicht erreichbar war.

Die günstige Ergebnisse haben mich veranlasst die Kristallisation von Kaninchenserumalbumin zu unternehmen. Zuerst gab es viele Schwierigkeiten, aber das Ziel wurde endlich erreicht. Nach einigen Wochen gelang es die ersten Albuminkristalle aus Kaninchenserum zu gewinnen. Von diesem Momente an wurde die Kristallisation dadurch vereinfacht, dass die weiteren Kristallisationen durch die Impfung mit Kristallen beträchtlich beschleunigt wurden. Ich habe bisher 6 Mal die Kristallisation von Kaninchenalbumin unternommen und nur in zwei Fällen ist sie misslungen.

Die Grundlagen der Kristallisation sind folgende: das Kaninchenserum wird mit Ammoniumsulphat bis zu einem Sättigungsgrad von 50% versetzt. Die ausgefallenen Globuline werden abfiltriert und das klare Filtrat mit einer weiteren Portion von Ammoniumsulphat bis zu einem Sättigungsgrad von 70% versetzt. Der Niederschlag wird scharf abgesäugt und in möglich kleiner Menge Wasser gelöst. Das pH der Lösung wird durch Zusatz von verdünnter Essigsäure auf 5 gebracht und mit der gesättigten Ammoniumsulphatlösung bis zum Erscheinen der ersten Trübung versetzt. Man stellt die Eiweisslösung in den Eisschrank und muss eine Zeitlang abwarten. Wenn man die Lösung geimpft hatte, so beginnt die Kristallisation innerhalb einiger Tage. Viel schwieriger ist die erste Kristallisation ohne Impfen durchzuführen. Es empfiehlt sich, einige Male die Mutterlösung auf Zimmertemperatur langsam zu erwärmen, wodurch manchmal eine Mikrokristallisation erzielt wird. Während der Sättigung mit Ammoniumsulphat bis zur

Abb. 1.

Abb. 2.

ersten Trübung kann man das Übergehen in den Gelzustand beobachten, ehe die gewünschte Konzentration an Ammoniumsulphat erreicht wird. In diesem Falle muss man die Mutterlösung mit Wasser verdünnen und wieder mit Ammoniumsulphat bis zur ersten Trübung sättigen. Man kann in vielen Versuchen die für die Kristallisation erforderliche Konzentration ermitteln. Wenn man für die Kristallisation diejenige Fraktion des Serumalbumins verwendet, die mit Ammoniumsulphat zwischen 50 und 60% der Sättigung ausgesetz wird, so erfolgt die Erstkristallisation viel leichter und schneller.

Die Form der Kristalle ist aus den Abb. 1 und 2 ersichtlich. Die Kristalle von Kaninchen- und Menschenalbumin haben sehr ähnliche Form und unterscheiden sich kaum von den Kristallen des Pferdealbumins. Sie haben die Gestalt von langen, sechseckigen Stäbchen, manchmal mit einer Spitze auf einer oder zwei Seiten. Sie sind deutlich anisotrop und quellen sehr stark während der Verdünnung oder der Erwärmung der Mutterlösung. Der kristalline Niederschlag ist massenhaft, fast das ganze Albumin geht in kristalline Form über. Die weiteren Untersuchungen über die kristalline Albumine aus Kaninchen- und Menschenserum sind im Gange.

Institut für biologische Chemie in Lwow.

Eingegangen
den 18. VII. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] A. Gürber, Sitzungsber. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg, 143 (1894). [2] H. T. Krieger, Über Darstellung kristallinischer tierischer Eiweisstoffe, Diss., Strassburg (1899). [3] F. N. Schulz, Die Kristallisation von Eiweisstoffen, Jena (1901). [4] Gruzewska, Compt. Rend., **128**, 1535 (1899). [5] T. Baranowski, ZS. für physiol. Chemie, **260**, 45 (1939).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

BIOCHEMIE

ÜBER VERSCHIEDENE HEXAGONALE KRISTALLE DES A-MYOGENS AUS KANINCHENMUSKULATUR

Von LUDWIK CHROBAK und TADEUSZ BARANOWSKI

(Vorgelegt von A. N. Bach, Mitglied der Akademie, den 18. VII. 1940)

Genaue röntgenographische und kristallographisch-optische Untersuchungen an zahlreichen, auf übliche Weise ([1]) aus der Kaninchenmuskulatur gewonnenen Präparate kristallinen, hexagonalen A-Myogens ergaben, dass im allgemeinen verschiedene, voneinander durch manche Eigenschaften unterschiedbare Kristallabarten erhalten werden. Optische Eigenschaften sind es in erster Reihe, die ähnliche (von gleicher Kristalltracht) als auch äusserlich geometrisch verschiedene (von verschiedener Tracht) Abarten von einander zu unterscheiden gestatten.

Je nach den unter dem Polarisationsmikroskop beobachtbaren Eigenschaften kann man diese hexagonalen Kristalle in zwei Hauptgruppen einteilen: (I) *—die optisch positiven und (II)—die optisch negativen. Eine jede Hauptgruppe ist ferner, der Stärke der Doppelbrechung nach, in Untergruppen zu ordnen: (1)—Kristalle mit sehr geringer oft an Individuen von Knapp 0.2 mm Dicke kaum wahrnehmbarer Doppelbrechung, und (2)—Kristalle mit deutlicher, messbarer, wenn auch für verschiedene Präparate verschieden starker Doppelbrechung. Die Grössenordnung der bisher beobachteten Doppelbrechung schwankt innerhalb der Grenzen von ungefähr 0.0001 bis 0.001.

K r i s t a l l t r a c h t. Bisnun wurden an A-Myogenkristallen zwei Abarten der hexagonalen Doppelpyramide beobachtet: die spitze Doppelpyramide—(*s*); die Kanten der gleichschenklig dreieckigen Pyramidenwand schliessen an der Pyramidenspitze, bei der *Z*-Achse, einen Winkel μ ungefähr 32° ein. Den Winkel μ kann man unter dem Mikroskop treu abmessen, wenn die Doppelpyramide mit einer ihrer Wände auf dem Objektträgerglas plan anliegt. Aus dem obigen μ-Wert berechnet man, unter der Annahme dass es sich um die (1011) Fläche handelt: $\varphi = 0$, $\rho =$ ungefähr 60.5°; $c : a = 1.56$. Charakter der Doppelbrechung dieser Kristalle: (—). Kurze Bezeichnung laut der oben eingeführten Nomenklatur: A-Myogen II-2-*s*.

Die zweite vorkommende Form der Kristalltracht ist eine der flachen, hexagonalen Doppelpyramide—(*f*). Der Winkel μ beträgt ungefähr 40°, ρ—ungefähr 54°, $c : a = 1.19$. In dieser Form sahen wir bisher die A-Myogene: I-1-*f*; I-2-*f*; II-1-*f* und II-2-*f*.

Manche Kristalle, welche aus ein und derselben Lösung nebeneinander mit den früher besprochenen II-2-*s* auskristallisierten, weisen neben der

* Dieses und im Folgenden eingeführte Symbole werden weiterhin im Laufe dieser Zeilen zur Bezeichnung der einzelnen Abarten verwendet.

f-Doppelpyramide die Flächen des hexagonalen Prismas $(10\bar{1}0)$—(*p*) in verschiedener Entwicklung (kurz oder lang) auf. Sie sind: II-2-*fp*.

Nun drängt sich die Frage auf nach der Ursache dieser Form- und Eigenschaften-Verschiedenheiten. Es bestehen folgende Möglichkeiten:

a) Polymorphismus. Die beobachteten Formen seien verschiedene kristallographische Modifikationen ein und derselben chemischen Verbindung, des «A-Myogens». Doch ist es von Vornherein kaum anzunehmen es bestände das Muskelextrakt, aus welchem die Kristalle ausfallen, nur aus einer einzigen Eiweissubstanz. Unverkennbar eindeutig gegen diese Annahme, besonders gegen die chemische Identität der Formen I-2-*f* und II-2-*f*, spricht die Fähigkeit der ersten Substanz auf der zweiten anzuwachsen.

Es gelang nähmlich auf den Kristallen II-2-*f*, unter Abhaltung von Luftzutritt beim Impfen und somit Vorbeugung der Oberflächendenaturation, Kristalle I-2-*f* zu züchten. I-2-*f* umwachsen vollkommen die II-2-*f* bei Behaltung derselben kristallographischen Orientierung der Formen (Abb. 1).

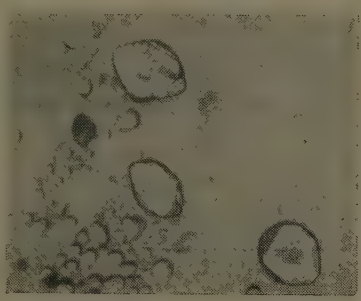


Abb. 1.

Bei geeignetem Dickenverhältnis beider aufeinander gewachsenen Schichten wird die Doppelbrechung des optisch negativen Kernkristalls durch den orientiert umwachsenden, positiven kompensiert. Die Brechungsindizes der Kernkristalle II-2-*f* sind merklich höher als diejenigen des umhüllenden I-2-*f* Kristalls. Es ist gelungen solche Kristalle bis 2 mm Längenausmass zu züchten. Ätzfiguren, die auf den grossen Kristallen I-2-*f* entstehen (bei Erwärmung in Mutterlauge bis Zimmertemperatur) lassen die Angehörigkeit zur dihexagonal-bipyramidalen Klasse erkennen.

Das Experiment der orientierten Umwachsung spricht entscheidend gegen die Möglichkeit des Kristallpolymorphismus, wenigstens für diese zwei Abarten. Das Aufwachsen einer Modifikation auf einem Impfkristall einer anderen Modifikation der gleichen chemischen Verbindung, in derselben kristallographischen Form, unter den gleichen physikalisch-chemischen Bedingungen (gleiche Temperatur, gleiches pH) erscheint uns fast unmöglich.

Es bleiben noch weitere Möglichkeiten bestehen:

b) Isomorphismus. Somit wären einige chemisch verschiedene, doch ähnlich hexagonal kristallisierende A-Myogensubstanzen anzunehmen.

c) Die Bildung einer Mischkristallreihe chemisch verschiedener A-Myogene muss auch in den Kreis der Möglichkeiten mit einbezogen werden.

d) Wären alle Kristalle doch nur verschiedene Formen eines einzigen A-Myogens, so müsste man zur Deutung dieser Form- und Eigenschaften-Buntheit annehmen, sie seien verschieden hohe Kristallhydrat- bzw. Kristallammoniumsulphatstufen.

Nähere kristallographische, besonders röntgenographisch-kristallographische Untersuchungen, welche eine Entscheidung dieser Fragen bringen dürften, sind im Gange.

Lehrstuhl für Kristallographie der Staatlichen Universität Lwow.
Lehrstuhl für die Biologische Chemie des Staatlichen Medinstituts Lwow.

Eingegangen den 18. VII. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] Tadeusz Baranowski, ZS. für physiolog. Chemie, **260**, 43—55 (1939).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

GEOLOGY

A BRIEF DESCRIPTION OF THE BALKHAN BAY ISLANDS

By O. S. VIALOV

(Communicated by A. E. Fersman, Member of the Academy, 5. VII. 1940)

In 1938 in the course of geological explorations in the Turkoman SSR I had the chance of visiting the Balkhan bay islands (the Caspian Sea, near the town of Krasnovodsk). Several of these islands having but recently made their appearance from underneath the sea level and not having been described yet by anyone (I. Svetlanka, Malyutka and Kushli-ada), information about others (I. Dag-ada, Subitlidgea and Baklan-ada) also being scarcely met with in literature, I trust that the brief description of them given below may be welcome.

Island Subitlidgea. Morphologically and geologically it is subdivided into two parts. The chief northern part is like an oval, slightly bulging, almost symmetrical shield stretched out in latitudinal direction. Its length is approximately 300 m, its maximum height 2.5—3 m. All this northern part of the island, except for a narrow stretch (5—10 m) of stony beach extending along its north rim, consists of solid rocks. Here gray and slightly yellowish, at the very bottom reddish limestones stand out, and compact, schistose dolomites dipping right north at an angle of 20—23°. On the southern slope, where their upper edges are laid bare, the limestones form some little terraces. Their age is Tithonian or Lower Neocomian. Along the whole surface of this elevated part of the island, up to its very summit shifted east from the centre, there are heaps of shells from the Caspian molluscs. Of perfectly different structure is the south part of the island. At first a stretch, 5—8 m wide, covered with sand full of Caspian shells (small *Cardium* and others) adjoins the tiny ridges of solid rocks in the south. Farther down south extends a very wide (up to 100 m) level beach hardly projecting from below the water and consisting occasionally of fine-grained gray sand or of bluish-gray silt. This part of the island has but quite recently emerged from the sea level.

Island Baklan-ada (Bakla-ada, Akcha-ada) has the outlines of a shield extending meridionally, greatly contracted at its north edge, rather wide and blunt in the south. Its length is about 130—140 m, the maximum width—about 90 m, its maximum height 4—4.5 m. Morphologically and geologically the island is clearly divided into two parts. The largest one, i. e. the northern part, represents a surface rising flat on the backs of the solid rocks. From the highest point—50 m distant from the northern edge—the dip south is more abrupt: there are two terraces, each 1.5 m in height (along the basset of the solid rocks). Between the terraces the surface of the island is

almost horizontal. The east and the west sides are slanting and symmetric. The solid rocks consist of limestones and dolomites which are compact and gray coloured at the foot, but yellowish and porous, higher up. The occurrence of the limestones is very slanting, dipping in general at an angle up to 10° northward, but in the east part they slightly incline NNE, and NNW in the western part, thus forming kind of a periclinal structure of slight local elevation. Their age is Tithonian or Lower Neocomian. A rather broad, low stretch, wholly scattered with Caspian shells, adjoins the south edge of the solid terraces and farther down extends the almost horizontal beach hardly projecting above the water and having but quite recently emerged from below the sea level.

Island Svetlanka. Between I. Dag-ada and I. Baklan-ada, closer to the latter one, there is a tiny islet, evidently having come forward from below the sea level but quite a short time ago, being marked on no maps. This islet is stretched out from south to north and has the east side slightly protuberant. Its length 45—50 m, width—28 m, its maximum height (in the centre) hardly exceeds 0.7 m. The surface of the island is slightly bulging, and from the centre gradually and proportionally growing lower on all its sides. It is composed of compact schistose, finely-porous dolomitic limestones of various colouring: yellowish, yellowish-gray, at times rusty and with delicate signs of indefinable fauna. Their age is Tithonian or Lower Neocomian. In immediate proximity of the coast the limestone-terraces are visible even under the water. It is difficult to detect the occurrence. The beds evidently dip NNE 10—12° ($\angle \sim 10°$). The upper edges of the thin limestone layers exposed on the surface of the island, are responsible for the formation of its very irregular microrelief. All the surface is strewn with Caspian fauna and, in two places—at the south-east and at the north-west edges of the island—the accumulation of piled up Caspian shells completely covers solid rocks. There is no vegetation whatsoever.

Island Kushli-ada. On the maps it is not marked, as it has but quite recently come forward from below the sea level. It has been named and described by my assistant M. I. Mandelstam. This island lies approximately 3.5—4 km west from I. Dag-ada. It extends in latitudinal direction and its length comes to 320 m, its width (in the central part)—215 m, its maximum height—not more than 0.15 m. The island is constituted solely from recent formations: yellowish-gray, moist sand, numerous Caspian *Cardium* and others. Almost all the surface is covered with a layer of wizened seaweeds. When there blows a «moryana» (rough wind coming from the Caspian Sea to the mainland) the whole island evidently is flooded.

Island Dag-ada. This is the largest and, geologically, the most interesting of all the islands examined. The length of this island, stretched out in latitudinal direction, is approximately 4 km, the greatest width of its chief part—about 1 km. Quite recently the island must have greatly gained width at the expense of the level beach that has come forth from below the water level and which adjoins its southern edge. The maximum width of the beach (in the central part of the island) comes to 2.5 km. This beach is not marked on the maps at present. Thus the whole island is divided into two parts: the chief northern one—elevated and composed of solid rocks, the southern part, attached to the former not long ago which represents, as has been mentioned before, an almost imperceptibly rising, nearly horizontal beach, composed of silt and fine-grained sand. Its outlines are triangular and its summit points south. In the north then we can distinguish three parts: the long and narrow western part, the somewhat wider and short eastern one and, at last, the perceptibly widened central part. The western part begins with the low and narrow cape Ozhidanie which joins the Termite

hill (height 5 m) by an isthmus which is hardly projecting from below the water. Farther eastward there stands out a long, narrow, bent isthmus Izverzhenny, that imperceptibly rises towards mt. Kruglaya. This mountain is separated by a slanting lowland from the chief elevations (mt. Moguilnaya and mt. Pyramid) of the central part of the island. The latter represents the remains of a much dissected slanting plateau dipping along the backs of the solid rocks northward, down to the very level of the water, but in the south falling abruptly (along their upper edges) towards the broad stretch of beach. The highest elevation lies just in this central part, close to the southern escarpment (mt. Pyramid). The plateau is intersected by broad transverse valleys with flat floors and rather steep slopes. A wide Bezradostnaya flat separates mt. Pyramid from the isolated elevation of mt. Chizh, the latter also being a remains of the sloping plateau. Thereafter follows a rather level depression adjoining the eastern side of mt. Chizh and terminating in cape Porfiriev. In the extreme north-east part there protrude two small elevations (cape Kupalny), separated from each other and from the adjacent parts of the island by a flat beach. At least one of them has quite lately ceased to be an independent islet.

The geological structure of the I. Dag-ada presents the following aspect: the chief series of strata which determines the general structure of the island, consists of light white, yellowish, occasionally pink, schistose limestones and dolomites, usually finely porous and containing indefinable signs of fauna. In the lower part of the stratum there are red, pink and gray sandstones wth single seams of red sandy clay. At the very bottom there is a breccia consisting of small débris of igneous rocks. Their age points to their being deposits of the Tithonian or the Lower Neocomian stage, i. e. that same series of beds which is laid bare on other islands as well (its age is determined from observations carried out in the vicinity of the town of Krasnovodsk). The occurrence of these rocks is commonly of a slight dip northward (up to 10°), but here and there (in the central part of the island, closer to the southern escarpment) almost horizontal. This generally simple structure is somewhat disturbed by the presence of transverse waves—slight, almost imperceptible bends of the layers owing to which one and the same bed along the southern escarpment now descends towards the sea level and even dips below it (for instance, on cape Ozhidanie and on Termite hill)—now rises rather high above the water level.

A rather essential part in the structure of the island play igneous rocks. They come forth in several places on the south slope, constitute the east end of the island and have been noted on its north coast, too. These rocks always subsist in the lower parts or they come forward from under the limestone-dolomite series of strata, or laid bare where the latter is quite washed out. The presence of débris of igneous rocks in the basis layers of this series bears witness to a more ancient age of the igneous rocks. The question of the latter's age in the vicinity of Krasnovodsk has been a point of dispute, already for a long time, in special literature. It has been referred from the Paleozoic era up to the Quaternary period. The observations made on the island Dagada distinctly fix the upper age-limit for the formati on of these rocks (Tithonian). Their composition proves rather complicated (the definitions were made by K. N. Paffenholtz). On the east coast only monotonous black quartz-porphyry has been found. There is black as well as pink quartz-porphyry on the isthmus Izverzhenny. At the north foot of mt. Pyramid granite, granite-porphyry, quartz-porphyry, diorite and porphyrite have been noted. No less complex composition has been encountered in the massif outcropping at the base of the south-west slope of mt. Moguilnaya. First of all we have to mention here dark-gray gneissose orthoclase granites. They are

broken through by pink orthoclase microcline granites of which numerous veins and apophyses of pink granite are the proof. They intersect the gray granite in various directions and are immediately connected with the chief pink granite massif. In both there appear crossing black veins of porphyrite, occasionally including granite débris. Near by there occur outcrops of quartz porphyry.

In a number of places, leaning against the native slopes or covering the lower parts of the island, ancient Caspian deposits have been noted which rise to a height of 8—10 m. They consist of brown clay at the bottom, of sand and pebble beds with a corresponding fauna in the upper part. During the ancient Caspian era the isle of Dag-ada was dissected into several islands—from below the sea level rose mt. Chizh, mt. Pyramid and mt. Moguilnaya.

At the foot of the solid rocks, where they do not immediately dip down to the sea, but are separated from it, and if so only by a trifling stretch of beach, everywhere an accumulation of the latest Caspian shells may be traced.

In general the I. of Dag-ada represents the very slanting northern limb of an anticlinal fold complicated by slight transverse waves. The axial part of the anticline passes near the steep south coast. Its southern limb is eroded. In the core of the fold outcrop igneous rocks.

Island Malyutka is situated approximately 300 m east from the north-east edge of the I. Dag-ada.

It has appeared but quite recently. A description of it has been made by my assistant E. N. Ivanova. The length of the island is 50 m, its width 34 m; it extends in meridional direction, has irregular oval-quadrangular outlines and rises but 0.5 m above the sea level. The whole island consists as though of one flag of dolomitic limestone (Tithonian—Lower Neocomian). Its surface is rugged and very slightly inclined north. On the south coast this flag forms a small terrace.

Farther down south from this island—a hundred meters or so—another little islet is just hardly jutting out from underneath the water.

In conclusion it may be of interest to note that the I. Cheleken, with a comparatively narrow sandy stripe, has just joined the mainland, thus having become a peninsula.

Petroleum Institute.
Leningrad.

Received
21. V. 1940.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

GEOLOGY

ON THE INFLUENCE OF EXPOSURE ON THE WEATHERING OF GYPSUM AND LIMESTONES

By A. N. PONOMAREV and G. A. MAXIMOVICH

(Communicated by V. A. Obruchev, Member of the Academy, 20. VI. 1940)

The weathering of rocks depends on a number of factors. Physical weathering, brought about chiefly by sharp fluctuations of air temperature, depends on the amount of heat absorbed by the rock. The degree of heating of the rocks depends on their heat capacity, colour, heat condition, and a number of other factors. One of these factors which is not always taken into consideration, is the exposure of rocks and of their outcrops in particular.

In mountainous regions with a dissected relief, where the mantle of soil is frequently negligible or wanting, the rocks near the surface which are only slightly weathered are subjected to direct heating. On plains and foothills under temperate climatic conditions where the mantle of soil is developed almost everywhere, the rocks crop out to the surface only in places of lateral erosion. These are chiefly erosions of undermined river banks. Below are given the results of observations on the temperature of such outcrops of limestones and gypsum in different exposures along the river banks in the Molotov region. These observations made by one of the present authors for ecological purposes have revealed sharp contrasts of temperature of the microclimate of the above rocks, depending on their exposure. These data make it possible to study the conditions of physical weathering of limestones and gypsum as dependent on their exposure.

Rather scanty data are available in literature as to the thermal regime of rocks under different conditions of exposure. The authors made their investigations in July and August 1938 in the western near-Ural region and at the Middle Urals, in the areas of development of Upper Paleozoic deposits. According to Kraus, in winter there is no difference in the temperature of the deposits on the slopes of north and south exposures. They set in with the beginning of spring and, getting more and more considerable, they attain their peak in summer. Thus, the time we have chosen for observation was that of maximum temperature difference in the microclimate of rocks. Three sets of observations were run, each set being conducted for three days simultaneously, hourly and parallel at the northern and southern exposures, from 9 a. m. till 10 p. m. In one series only observations were made for 24 hours without interruption. They were made here only on the outcrops of the southern exposure, since there were no outcrops on the opposite bank. Temperature measurements were made 50 cm above the surface of the exposure, at the surface of the soil and within the rock at a depth of 3.5, 10 and 25 cm. In these

investigations Keller's method was applied ([5],[6]) which was found successful by other authors ([3],[7]), being very simple and yielding quite reliable results. Thermometers were mounted on cornices and ledges of calcareous and gypsum cliffs, covered with a mantle of loose weathered material of variable thickness. Wooden insulating turnbuckles with inserted thermometers were put into the holes made by mud bits. The cylindrical mercury receiver of the thermometers was covered with zinc caps and paraffined, to eliminate breakages and temperature fluctuations when taking the thermometers out of holes to take readings. According to the nature of investigation, the bore-holes were made mostly in places of development of loose weathering material on the ledges of exposures. At the exposures of gypsum the bore-hole was sunk in a steep wall deprived of eluvial-deluvial mantle. Temperature measurements made by the method adopted have shown in general the same temperature conditions. Only at a depth of 25 cm a somewhat wider range of temperature changes was observed, depending upon the absence of a less heat-conducting loose weathering material. This circumstance should be taken into account when using the data given below. This slight difference, however, does not affect the regularities found.

The first set of observations was carried out in the Kungur district of the Molotov region, within the area of development of the Kungurian deposits. 24-hour observations were made here in the exposures of mt. Podkamennaya at the right-hand bank of the Sylva river described already by Stuckenberg. This exposure is composed, according to Tolstikhina, by the deposits of the Iren horizon of the Kungurian stage, the II and I series—of gypsums and anhydrites. The results of temperature observations are given in Table 1.

Table 1

24-hour Temperatures of Air and Gypsums of the Southern Exposure of Mt. Podkamennaya near the Town of Kungur
(1st set of observations)

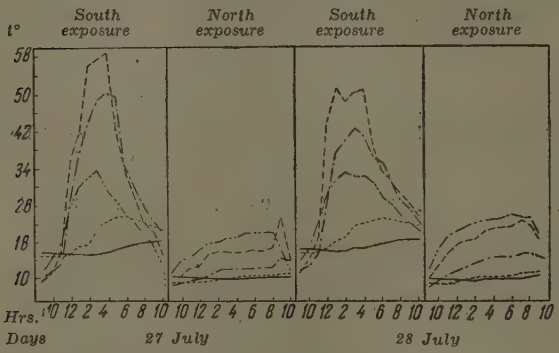
Thermometer readings in cm	7—8. VII (from 3 p.m. to 2 p.m.)				9—10. VII (from 10 a.m. to 9 a.m.)			
	max.	min.	Range	Average 24-hour temper.	max.	min.	Range	Average 24-hour temper.
−25	23.6	22.5	0.9	23.1	23.4	22.2	1.2	22.7
−15	27.3	25.0	2.3	26.3	26.5	22.3	4.2	24.7
−10	34.0	25.1	8.9	29.0	32.8	20.1	12.7	26.5
− 3.5	59.0	21.8	37.2	34.2	40.8	15.9	24.9	28.1
0	66.5	18.4	48.1	35.5	51.0	13.0	38.0	29.9
+10	46.8	17.5	29.3	29.0	33.0	12.5	20.5	23.8

The second set of measurements was also made within the area of development of Permian deposits. These are exposures of gypsums of the Kungurian stage in the lower course of the Chusovaya river. The results of temperature measurements are given in Table 2.

The third set of observations was made at the outcrops of limestones of the northern and southern exposures in the Usva river valley in the Kizel district. There, near the village Bolshoe Brevno the stone Maloye Brevno is exposed consisting of white and light-gray siliceous Lower Permian limestones. Recent data are given by Gorsky. Data on maximum and mean diurnal temperatures are given in Table 2.

Thermometer readings in cm	Gypsums of the lower course of the Chusovaya river (2nd set of observations)								
	Mean diurnal temperatures						Max. temperatures		
	3. VIII			4. VIII			3. VIII		
	S	NW	Diff.	S	NW	Diff.	S	NW	Diff.
−25	23.0	10.2	12.8	23.0	10.1	12.9	24.5	10.4	14.1
−10	28.0	14.3	13.7	25.8	13.6	12.2	31.6	16.7	14.9
− 3.5	39.8	16.6	23.2	36.8	14.8	22.0	55.0	21.0	34.0
0	40.0	21.9	18.1	36.6	17.6	19.0	49.2	27.5	21.7
+50	31.1	26.4	4.7	30.7	23.9	6.8	37.0	30.5	6.5

Along the Usva river the most typical curves of diurnal temperature were obtained for outcrops of different exposures (Fig. 1). It is here that the dependence of the dynamics of rock and air temperature on exposure comes to its clearest expression. It is manifested in the different run of the curves at the stations of southern and northern exposure. The temperature curves of the air layer near the surface, of the earth surface and of the rocks at a depth of 3.5 cm at the stations of southern exposures are characterized by sharp peaks at noon or at the first hours of the afternoon, by a steep rise and equally sharp drop during the morning and evening hours. In other words, these



Curves of air temperatures: —·—·— at a height of 50 cm; — — — at the surface; —·—·— at a depth of 3.5 cm; ····· at a depth of 10 cm; ——— at a depth of 25 cm.

curves are symmetrical and entirely depending upon the intensity of the direct sun radiations. The temperature curve of the rocks at a depth of 10 cm is more smooth, kind of levelled. Temperature fluctuations at this depth are still rather considerable, i. e. heating during the day and cooling at night are still observable, though in a subdued form. It is noteworthy that during the day the temperature curves of the surface of the earth and those of the rocks at a depth of 3.5 cm run higher than the air temperature curve at a height of 50 cm. For the limestones (and gypsums) of the northern exposure the temperature curves of the superficial portions of the rocks (0—3.5 cm) and those of the air are asymmetrical. Here a very smooth and even course of temperature is observed during the day, the peak being attained only at the evening, before sunset. After this a rather sharp drop takes place. The outcrops of rocks of the northern exposure are characterized by that the air temperature curve at a height of 50 cm shows a higher course than the rest curves. Concequently the rocks are heated here by the air near the earth surface, whereas the outcrops at the southern exposure are heated directly by sun radiation.

Table 2

Limestone in the Usva river valley (3rd set of observations)											
Mean diurnal temperatures						Max. temperatures					
27. VII			28. VII			27. VII			28. VII		
S	NW	Diff.	S	NW	Diff.	S	NW	Diff.	S	NW	Diff.
16.4	10.2	6.2	16.9	9.9	7.0	18.4	10.4	8.0	18.5	10.7	7.8
19.4	9.9	9.5	19.8	9.9	9.9	23.6	10.8	12.8	23.0	11.4	11.6
30.5	11.6	18.9	29.1	13.0	16.1	50.2	14.7	35.5	42.2	15.4	26.8
32.5	15.0	17.5	33.1	17.9	15.2	59.0	23.2	35.8	50.6	22.4	28.2
22.9	16.9	6.0	25.7	20.5	5.2	33.5	20.0	13.5	33.0	23.8	9.2

From the above data as well as the bulk of observational material the following conclusions may be made.

1. The temperature microclimate of limestones and gypsum highly differs for the northern and southern exposure. This is seen from the difference of the mean temperatures of rocks and air during the day. Within four days of observations of the second (gypsums on the Chusovaya river) and third (limestones on the Usva river) sets this difference varies as follows (Table 2): for the air at a height of 50 cm—from 4.7 to 6.8°; for the surface of the outcrop—from 17.9 to 19.1°; at a depth of 3.5 cm—from 16.1 to 23.2°; at a depth of 10 cm—from 9.5 to 13.7°; at a depth of 25 cm—from 6.2 to 12.9°.

2. Diurnal temperature ranges at the outcrop of limestones and gypsums are different for the southern and northern exposures (Fig. 1). For the southern exposure they are much wider than for the northern one. Diurnal fluctuation of temperature in gypsums of southern exposure, according to observations of the first set, attained 48.1° for the surface of the outcrop, and 37.2, 8.9, 2.3 and 0.9° at a depth of 3.5, 10, 15 and 25 cm, respectively.

Such wide temperature ranges of the surface layer of rocks in outcrops of the southern exposure during 12 and 24 hours can hardly be regarded as maximum ranges. This may be explained by the fact that during the day the exposed gypsums and their mantles of loose weathered substance are heated to very high temperatures (up to 66°, according to our observations), while at night they are rapidly cooling from the surface owing to radiation. Maximum temperatures are attained at noon or about noon. In contradistinction to this the temperature ranges at limestone and gypsum outcrops of northern exposure are quite negligible. The day temperature curves (Fig. 1) are very sloping and do not show any sharp rises. The highest temperatures are observed at evening hours just before sunset, since the rocks are heated by the air layer near the surface.

3. 24-hour temperature fluctuations as a weathering factor play a much more important rôle at outcrops of limestones and gypsums of southern exposure than under conditions of northern exposure. This factor is of particular importance in spring, when the outcrops of southern exposure are heated above 0° owing to intense insolation, while at night their temperature falls below 0°. Naturally enough, this difference in the temperature microclimate brings about an earlier thawing of the snow and a more rapid drying of the outcrops of the southern exposure.

4. With the depth the temperature range of the rocks is damping. At a depth of 25 cm, the fluctuations of temperature during 12 and 24 hours are still observed, but are quite negligible (within 2—3°). At a depth of 10 cm these ranges are somewhat wider, though still rather small (5—6° at an ave-

rage), while at a depth of 3.5 cm and at the surface they are very wide. From this it may be concluded that physical weathering which is due to temperature changes, affects only uppermost rock layer. This layer, not more than 10 cm in thickness, may be called the active weathering layer.

5. Physical weathering is but one of the sides of a complex multiform process. It is natural that chemical and organic weathering are also operative at the outcrops. Limestones and gypsums as rather readily dissolving rocks are subjected to chemical weathering, too. This weathering is most sharply expressed at the outcrops of southern exposure. Owing to the fact that they are mostly very steep, in spite of a more intense weathering, the eluvial and deluvial mantle is negligible here. Nearer to the surface slightly weathered varieties of gypsums and limestones are to be found which become dissolved by drainage waters. In such cases vegetation of the outcrops of southern exposure is found only upon ledges. Thus, the part of organic weathering is clearly negligible. The outcrops of gypsums and limestones of northern exposure are mostly flat-dipping. They are covered with an eluvial-deluvial mantle. Physical and chemical weathering is but slightly expressed here, whereas abundant vegetation is observed, which intensifies the rôle played by biochemical and biophysical weathering. The vegetation at the outcrops of northern and southern exposure is also different, owing to a difference of microclimatic conditions.

6. The different character of weathering of limestones and gypsums as depending on their exposure is one of the causes of the asymmetry of valleys of rivers which have a latitudinal course. The factors that may be taken to account for the asymmetry of the cross-section of river valleys are numerous. In the case of a similar geological composition of both valley slopes its longitudinal section obeys the Bear-Babinet law and depends on the primary incline of a topographical surface ([2]), the exposure with regard to the dominating winds ([9],[10]) which may, possibly, be humid ones ([15]), on the insolation ([1],[4]) and the incline of the slightly dislocated deposits ([14]), the inclination of the platform mantle with epeirogenetic movements, the lithological composition of the rocks, the character and direction of the fissures, the amount of sink-hole and solution cavity formation, etc. All these factors as a whole and each of them separately are responsible for the cross-section of the valley. Owing to the diversity of conditions existing in different parts of the river, the character of the profile of its valley is rather variable, too. Within the area of Chikali-Kungur—mt. Podkamennaya, where the river flows in a rather latitudinal direction, the Sylva river valley is asymmetrical. It is the right-hand bank with a southern exposure that is steep. Aside from the Coriolis rule and other factors, a considerable rôle seems to belong here to insolation. An intense physical and chemical weathering which gives rise to a rapid decay of the bank with a southern exposure, is evidently one of the principal factors of asymmetry of the Sylva river valley within this area. Similar phenomena were observed before ([1]).

Only the chief mechanisms governing the temperature microclimate of different slopes have been established by us. The original cause lies in the difference of temperature microclimate depending upon insolation. More intense physical and chemical weathering, earlier thawing of snow and in general a lesser degree of moisture and, consequently, a less intense vegetation at the slopes of southern exposure are the results.

While other, more effective factors are absent, this is the cause of an easier erosion of the banks of southern exposure on rivers having a latitudinal direction. The part of lithological factors is still obscure. Theoretically it may be assumed that in less stable areno-argillaceous rocks the southward slopes should be more flat-dipping owing to more rapid decay. This is being con-

firmed by the observations made by Edelstein in Mountainous Siberia. Further investigations in this line are necessary.

Molotov State University.
Department for Dynamical Geology and Taxonomy of Plants.

Received
21. VI. 1940.

REFERENCES

[1] А. Д. Архангельский, Землеведение, IV (1911). [2] А. А. Борзов, Сб. в честь 70-летия проф. Д. А. Анучина (1913). [3] В. Ф. Васильев, Тр. Ворон. ун-та, X, № 5 (1939). [4] Н. А. Димо и Б. А. Келлер, В области полупустыни (1907). [5] Б. А. Келлер, Тр. Тифл. бот. сада, XII, № 2 (1913). [6] Б. А. Келлер, По долинам и горам Алтая (1914). [7] Н. Ф. Комаров, Сов. ботаника, № 5 (1933). [8] Коржинский, Тр. О-ва естеств. при Казан. ун-те, XIX, 6 (1889). [9] Klinge, Über den Einfluss der mittleren Windrichtung auf das Verwachsen der Gewässer. [10] Köppen, Meteorol. ZS., VII. [11] Kraus, Klima und Boden auf dem kleinsten Raum, Jena (1911). [12] П. К. Крылов, Тр. О-ва естеств. при Казан. ун-те, VI, 6 (1879). [13] Лоске, С.-х. метеорология (1913). [14] А. П. Павлов, Землеведение, III—IV (1898). [15] A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, T. 2, (1894).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PLANT PHYSIOLOGY

FROST-RESISTANCE OF CITRUS PLANTS AS CONTROLLED BY DAYLENGTH

By S. M. IVANOV

(Communicated by A. A. Richter, Member of the Academy, 2. VII. 1940)

Light is a powerful factor in the frost-resistance of citrus plants not merely because their hardening process is influenced by its intensity (1). Another circumstance that matters much here is the length of its daily periods during vegetation. Short periods of light will increase frost-resistance in woody plants, as is known from studies on photoperiodism. The reason which has been put forward to account for such effect of curtailed daylengths is that they shorten the growing season, while the long daylengths lengthen it. And when a plant has completed its growth well before the advent of frosts, it has time to prepare itself to hibernation. This preparation period consists largely in the lignification and suberization of shoots, in storing more starch which is converted into sugars, during the process of hardening (3,4).

That an increased frost-resistance of woody plants is connected with earlier completion of their growing period and that the latter is controlled by daylength, cannot be doubted now, indeed. But the internal mechanism underlying the increase in frost-resistance needs further elucidation. It was therefore my aim in my studies on citrus plants to disclose the nature of internal changes induced by photoperiodic treatment in these plants in order to alter their frost-resistance. At the same time I wished to establish how strong this dependence between frost-resistance and daylength is expressed in various species of citrus plants.

The experiment was arranged in 1938 with New-Athos lemon, mandarin Unshiu and orange. The lemon and mandarin were three-year-old potted plants grafted upon *P. trifoliata*, while the orange was represented by two-year-old seedlings. From the middle of August onwards the plants within each species received different photoperiodic treatment: 10 plants were given curtailed (8-hour) day, 10 plants continued their growth on natural daylength (control), and another 10 plants were given long days of 18—20 hours (by adding electrical light).

Estimations of their frost-resistance were made in the middle of December. The plants were frozen in cooling chambers, and the effect of this treatment as well as the internal changes in their condition were traced. As indices served the amount of sugars and of reduced glutathione in the leaves. The latter characterizes the functional activity of cells that is connected with growth and determines the resistance of plants to frost (2). The results

show the frost-resistance to vary within a wide range according to the day-length.

In the control plants of lemon kept at —8° C 66% of the leaves and 23% of the shoots perished. With the short daylength the results were better. These plants lost only 46% of their leaves and 4% of their shoots. A diametrically opposite effect had been produced by long days. The resistance of plant had been so strongly reduced in that case that all their leaves and 87% of their shoots perished. In control plants the shoot injury was 34% among the summer growth, 17% among the spring growth and 4% among the stem. The respective figures for the plants on curtailed daylength were 5, 2 and 0%, for the plants on protracted daylength, 56, 64 and 32%.

In orange the variation of frost-resistance with daylength has a similar character, though it is not so strong; but the plants of mandarin do not show any such response at all to the change of daylength and even appear to increase their frost-resistance when given long days and to decrease it on short days. The changes, however, are not considerable and are rather likely to have been caused by some unaccounted for conditions of the experiment.

Therefore it is possible to conclude from the results obtained that short days tend to increase frost-resistance in citrus plants, while long days decrease it. This tendency, however, is not expressed with equal strength in all the species tested, but is rather in accordance with the particulars which each of them has developed in the process of evolution. The most responsive to daylength in this respect is the lemon. Next follows the orange, while the mandarin is very little responsive, if at all.

Turning to the question of the mechanism underlying the variation of frost-resistance in response to varying daylength, it is well to note that not merely is the resistance of young shoots liable to such change, but the full-formed new twigs and even the stem have their frost-resistance varying according to the same rule. This must be interpreted to mean that the early lignification induced by short days cannot possibly alone be responsible for increased frost-resistance. Some deeper alterations in the condition of plants are hidden behind this phenomenon.

Glutathione estimations have shown, indeed, that the content of this substance in the leaves decreases considerably with the daylength (see table).

Name	Experimental set	Reduced glutathione in mg per 100 g	Sugars, % in absol. dry weight		
			Monosaccharides	Sucrose	Total sugar
Lemon	Control	328.04	4.69	6.15	11.17
	Short day	302.22	5.03	5.23	10.53
	Long day	462.41	6.30	3.51	10.01
Orange	Control	219.91	6.85	2.33	9.30
	Short day	165.03	5.57	3.61	9.37
	Long day	285.45	4.27	4.43	8.94
Mandarin	Control	110.96	7.53	5.88	13.72
	Short day	114.59	4.58	5.65	10.53
	Long day	91.91	6.66	6.33	13.32

From the tabulated figures it is obvious that with decreasing daylength not only is the active growth of shoots completed sooner, but we also find the functional activity of cells connected with growth to decrease in energy,

after the active growth and lignification of young shoots have come to an end. If we were to compare the frost-resistance of various plants on the basis of their glutathione content, we would find it to increase as the content of glutathione is reduced owing to decreased daylength.

The content of sugars in the leaves is also affected markedly by variation of daylength (see table), but no definite relation to the frost-resistance can be traced here.

It will be apparent that the changes in the activity of growth processes lie on the road by which daylength comes to exert its effect on the frost-resistance of citrus plants. As has been reported earlier ([2]), a decrease in the activity of growth processes is bound to change the properties of the plasma and so to increase frost-resistance. Certainly, the latter is also related to the degree of lignification of shoots and to the content of sugars, but these are not the decisive factors.

What is precisely the mechanism, by means of which the photoperiodism brings to bear its influence on that functional activity of cells which is connected with growth, is not yet clear. We may possibly connect this phenomenon with a more intensive accumulation of reduced glutathione under the influence of long days. That substance is a natural stimulator of growth processes ([5]), but some other substances similarly endowed may be also involved. It is known that when short-day plants are given additional illumination, their cell juice increases in acidity. And in an acid medium the sulphohydrogroup of the glutathione (which is its active part) undergoes a slowed down oxidation. Hence the increased content of glutathione in plants grown on long daylength.

Laboratory of Physiology and Biochemistry.
Institute for Tea and Subtropical Crops.
Sukhumi.

Received
27. VI. 1940.

REFERENCES

[1] Ivanov, C. R. Acad. Sci. URSS, XXV, № 5 (1939). [2] Ivanov, ibidem, XXII, № 5 (1939). [3] Мошков, Тр. по прикл. бот., ген. и сел., 28, 2 (1929—1930). [4] Мошков, Соц. растениеводство, 2 (1932). [5] Hammett, Protoplasma, VII. H. 3 (1929).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PFLANZENPHYSIOLOGIE

ÜBER DIE ERNÄHRUNG DES SOMMERWEIZENS *MELANOPUS* 069 MIT MINERALSTOFFEN DURCH DIE BLÄTTER

Von A. M. LEWIN

(Vorgelegt von A. A. Richter, Mitglied der Akademie, den 26. VI. 1940)

Durch eine Reihe von Untersuchungen ([1–5]) und ebenfalls durch unsere Arbeiten ([6]) wurde die Möglichkeit der Ernährung der Pflanzen mit Mineralstoffen bei ihrer Aufnahme durch die Blätter festgestellt. In Zusammenhang mit den Arbeiten des Ukrainischen landwirtschaftlichen Institutes über die Bedürfnisse der Weizen an mineralen Nährstoffen während der Vegetation, wurde von uns zur Lösung derselben Aufgabe ein Versuch mit der Einführung von Nährstoffen durch die Blätter des Sommerweizens *Melanopus* 069 angestellt.

Der Versuch wurde mittels der Methode der Wasserkultur durchgeführt, welche es ermöglichte einen bestimmten Bestandteil aus dem Nährgemisch auszuschliessen und ihn durch die Blätter einzuführen. Das Einführen der Nährstoffe wurde mit den Entwicklungsstadien der Pflanzen koordiniert, die nach dem Grad der Ährenentwicklung beurteilt wurden (Versuchsschema in der Tabelle).

Es wurde die Ernährung durch die Blätter mit Stickstoff, Phosphor und Kali untersucht, dabei wurden Lösungen von 0.1 mol. Konzentration verwendet. Zu Beginn der Vegetationsperiode, musste man, da die Blattoberfläche klein war, zur Einführung der Salze die Pflanze mit einem mit der entsprechenden Lösung befeuchteten Wattebausch bestreichen. Nachdem die Pflanzen sich weiter entwickelt hatten, war es bequemer sie aus dem Pulverisator zu bespritzen, welcher die Lösung zu feinen Tropfen verteilte, die die Blätter gut befeuchteten. Die Bespritzung wurde bis zur vollständigen Befeuchtung der Pflanze vorgenommen.

Die Einführung der Nährstoffe durch die Blätter wurde wie folgt durchgeführt: von 6—8 Uhr morgens wurden die Pflanzen mit destilliertem Wasser bespritzt. Nach dem Trocknen wurden die Blätter mit Salzlösung befeuchtet, nach 30—40 Min. wurden die Pflanzen von neuem während einer Stunde mit Wasser bespritzt und nachher wieder mit Salzlösungen. In diesem Zustand verblieben die Pflanzen bis zum folgenden Tage. Um die Möglichkeit eines Eindringens der zu der Bespritzung verwendeten Salze in das Gefäss mit der Nährlösung zu verhindern, wurde auf den Deckel, an den die Pflanzen befestigt waren, eine dicke Schicht hygroskopischer Watte angebracht, welche alle Öffnungen im Deckel dicht verschloss.

Indem wir zur Durchsicht der erhaltenen Resultate übergehen, muss bemerkt werden, dass zu Beginn des Versuches die Pflanzen verhältnismässig gleich waren. Aber schon am 22. Tage der Vegetation, als die Pflanzen nach verschiedenen Ernährungsbedingungen in das Lichtstadium eintraten, war ein Unterschied in dem Zustand der Pflanzen zu beobachten.

Die Pflanzen in den Varianten 1 und 5 wiesen die beste Entwicklung auf: an diesem Tage wurde bei ihnen Beginn der Differenzierung der Anlage der Ähre festgestellt. Es klärte sich ebenfalls das Bild der Varianten, bei wel-

Einfluss der verschiedenen Ernährungsarten auf die Entwicklung und den Ertrag des Sommerweizens *Melanopus* 069

Varianten	Vegetationsperiode der Pflanzen: vor dem Lichtstadium, vom 14. V bis 19. V – Nährstoffe wurden eingeführt: in das Gefäss	vor dem Lichtstadium, vom 14. V bis 19. V – Nährstoffe wurden eingeführt: auf die Blätter	Lichtstadium, vom 22. V bis 16. VI – Nährstoffe wurden eingeführt: in das Gefäss	Lichtstadium, vom 22. V bis 16. VI – Nährstoffe wurden eingeführt: auf die Blätter	nach dem Lichtstadium, vom 10. VI bis 7. VII – Nährstoffe wurden eingeführt: in das Gefäss	nach dem Lichtstadium, vom 10. VI bis 7. VII – Nährstoffe wurden eingeführt: auf die Blätter	Die Ährenentwicklung wurde beobachtet am folg. Tag	Dauer der Vegetation	Trockengewicht von 10 Pflanzen: in Grammen: Oberirdischer Teil	Trockengewicht von 10 Pflanzen: in Grammen: Wurzeln	Trockengewicht von 10 Pflanzen: in % von der Kontrolle: Ganze Pflanze	Trockengewicht von 10 Pflanzen: in % von der Kontrolle: Korn	Struktur des Ertrags: Ähren auf einer Pflanze	Struktur des Ertrags: Ährchen in der Ähre einer Pflanze	Struktur des Ertrags: Korn in den Ähren einer Pflanze	Struktur des Ertrags: Füllung aller Ähren mit Korn	Struktur des Ertrags: Gewicht eines Kornes in mg
1	Sämtliche	—	Sämtliche	—	Sämtliche	—	58	96	50.33	4.26	100	100	3.04	43.8	63.9	1.4	22.5
2	Ohne P	P	Ohne P	P	Ohne P	P	53	96	13.60	1.40	27.5	26.8	0.86	10.5	16.1	1.5	29.2
3	»	H_2O	»	H_2O	»	H_2O	59	89	1.70	0.60	4.20	—	0.74	6.6	—	—	—
4	»	P	»	—	»	—	53	90	2.91	0.75	5.7	—	1.00	9.7	—	—	—
5	Sämtliche	—	»	—	»	—	51	89	10.37	1.32	21.4	6.7	0.96	11.6	4.1	0.3	25.0
6	Ohne P	—	»	P	»	—	53	89	9.32	0.96	18.8	19.1	1.00	9.9	12.8	1.3	23.0
7	»	—	Sämtliche	—	»	—	61	92	38.19	2.28	74.1	74.0	2.74	37.2	53.0	1.4	21.4
8	»	—	Ohne P	—	»	P	55	91	3.46	0.54	7.31	4.8	1.00	8.0	5.8	0.7	13.0
9	»	—	»	—	Sämtliche	—	56	98	3.66	0.61	7.8	4.4	0.85	6.4	4.9	0.8	14.6
10	Ohne N	N	Ohne N	—	Ohne N	—	52	85	1.53	0.44	3.7	1.4	0.97	6.4	1.3	0.2	16.0
11	»	—	»	N	»	—	49	85	5.14	0.70	10.9	12.2	1.0	8.2	10.0	1.2	18.7
12	»	—	»	—	»	N	49	91	2.69	0.51	5.9	4.0	1.0	6.7	4.6	0.7	13.3
13	Ohne K	K	Ohne K	—	Ohne K	—	55	85	3.27	0.40	6.7	0.6	0.87	7.6	0.9	0.1	11.0
14	»	—	»	K	»	—	56	85	6.14	0.41	12.0	10.1	1.0	9.6	11.3	1.2	16.0
15	»	—	»	—	»	K	61	85	4.02	0.33	8.0	4.8	1.0	8.2	6.5	0.8	11.2

chen die Ernährung durch die Blätter mit Phosphor und Kalium durchgeführt worden war. In der Entwicklung blieben diejenigen Pflanzen zurück, welche entweder gar keines der Nährsalze oder aber zu Beginn des Lichtstadiums Stickstoff erhalten hatten. Am 34. Tage vom Aufgehen der Saat traten bei den Versuchspflanzen der verschiedenen Varianten stärkere Unterschiede im Wachstum und in der Entwicklung auf.

Bei den Pflanzen derjenigen Varianten, bei welchen vor dieser Zeit eines der Nährelemente aus dem Nährgemisch ausgeschlossen war, trat dieses Zurückbleiben besonders bei Ausschluss von Kalium aus der Nährlösung, in geringerem Masse bei Ausschluss von Stickstoff und Phosphor auf. Bei Ernährung mit Mineralstoffen durch die Blätter in dem Lichtstadium waren nach dem 34. Tage der Vegetation diejenigen Pflanzen in besserem Zustande, welche Phosphor und dann Stickstoff und Kalium erhalten hatten. So erreichte bei Variante 6 das Frischgewicht der Pflanzen 0.842 g, bei Variante 11—0.609 g, bei Variante 14—0.341 g. Dieselbe Gesetzmässigkeit wurde betreffend der Höhe und Entwicklung der Pflanzen beobachtet.

Von den durch die Blätter während des Lichtstadiums der Entwicklung eingeführten Salzen, hat auf den späteren Zustand der Pflanzen und auf ihre weitere Entwicklung sich die Wirkung des Kaliums am besten bewährt. Dies wird durch die Zunahme des Frischgewichtes der Pflanze (Gewicht auf das Gefäss 1.133 g) und durch die Entwicklung der Ährenanlage (13 Ährchen, Länge 106 Teilstriche des Okularmikrometers) am 34. Tag der Vegetation bestätigt, während bei Phosphor und Stickstoff die Pflanzen ein Zurückbleiben aufwiesen. Auf Grund der in der Tabelle angeführten Angaben, kann man den Schluss ziehen, dass einem höheren Grade der Ährenbildung am 34. Tag nicht in allen Varianten eine frühere Ährenentwicklung entspricht.

Bei der Zusatzernährung, z. B., durch die Blätter war der Grad der Ährenbildung um so höher, je früher die Pflanzen Kalium bekamen (im Bereich des zu untersuchenden Schemas) und um so früher fand die Ährenentwicklung der Pflanze statt. Bei der Ernährung durch die Blätter mit Phosphor war der Grad der Ährenbildung um so grösser, je früher die Pflanzen ihn aufnahmen, die Zeit der Ährenentwicklung aber schwankte in unbebeutendem Grade. Gerade das Gegenteil beobachtete man bei der Ernährung durch die Blätter mit Stickstoff; je früher die Pflanzen Stickstoff erhielten, um so geringer war bei ihnen der Grad der Ährenbildung, um so später die Ährenentwicklung. Das weist darauf hin, dass Phosphor und Kalium die Ährenbildung und Ährenentwicklung bedeutend beschleunigen, der Stickstoff aber diesen Prozess im Gegenteil verzögert.

Aus den Ertragsangaben, die in der Tabelle dargestellt sind, ist ersichtlich, dass nach der Ertragshöhe, diejenigen Pflanzen der Kontrolle (74%) zunächst stehen, die ergänzend Phosphor durch die Wurzeln während der Periode der Ährenbildung, d. h. während des Durchlaufes des Lichtstadiums, erhalten haben (Var. 7). Das Einführen von Phosphor vor dieser Periode gab einen bedeutend geringeren Effekt (Var. 5), das Einführen nach dieser Periode aber gab einen Ertrag, der sich dem maximalen näherte. Analoge Resultate in bezug auf den Effekt in Abhängigkeit von der Zeit des Einführens, wurden bei der Zusatzernährung mit Phosphor durch die Blätter (Var. 4, 6) erhalten, aber in bezug auf die Höhe des Ertrages war er bedeutend niedriger beim Einführen von Phosphor im ersten und zweiten Termin. Jedoch beim Einführen des Phosphors durch die Blätter im 3. Termin, nach Beendigung des Lichtstadiums, war sowohl der Gesamtertrag als auch der Kornertrag fast gleich gross, wie bei den Varianten, bei welchen die Zusatzernährung durch die Wurzeln ausgeführt wurde (Var. 8—9). Bei diesen Varianten hat die Zusatzernährung hauptsächlich bei der Entwicklung der Reproduktionsorgane ein positives Resultat aufgewiesen, was aus

dem Vergleich dieser Variante mit der Variante 3 der Pflanzen, welche nur mit destilliertem Wasser bespritzt worden waren, ersichtlich ist.

Das maximale Bedürfnis der Versuchspflanzen in dem Lichtstadium hat sich sehr deutlich sowohl in bezug auf Stickstoff (Var. 10, 11, 12) als auch in bezug auf Kalium (Var. 13, 14, 15) gezeigt.

Es muss bemerkt werden, dass bei Zusatzernährung durch die Blätter mit bestimmten einzelnen Elementen vor dem Lichtstadium der Ertrag geringer ist, als bei Ernährung nach dem Lichtstadium. Bei der Ernährung durch die Wurzeln erhält man entgegengesetzte Resultate. Das erklärt sich wahrscheinlich dadurch, dass die Menge der Elemente, die durch die vor dem Lichtstadium schwach entwickelte Blattoberfläche aufgenommen wird, geringer ist als diejenige, welche von der gut entwickelten Blattoberfläche nach dem Lichtstadium aufgenommen wird.

In dem durchgeführten Versuch fand eine sehr charakteristische Verteilung der Trockensubstanz zwischen den einzelnen Organen der Pflanze statt. Bei den Varianten 3 und 4, bei welchen die Pflanzen einen grossen Mangel an Phosphor erlitten, war das Wurzelsystem stärker entwickelt als die oberirdische Masse. So, z. B., war im 3. Variant der Gesamtertrag der oberirdischen Masse 73.9%, der Wurzeln aber 26.1% vom Gesamtertrag. In der Variante 4 entsprechend 79.6 und 20.4%. Das günstigste Verhältnis der verschiedenen Teile der Pflanze wurde bei der Variante 1 und 2 beobachtet, wo die oberirdischen Teile 90%, die Wurzeln aber 10% aufwiesen. Bei den Pflanzen der Variante 4, 10 und 13, welche die Nahrung durch die Blätter vor dem Lichtstadium erhalten haben, waren die vegetativen Organe der Pflanze, besonders die Blattoberfläche, am stärksten entwickelt. Diese Tatsache ist ein direkter Beweis dafür, dass die Nährstoffe in erster Linie von den sie aufnehmenden oberirdischen Organen ausgenützt werden, wenn sie während der Entwicklungsperiode dieser Organe eingeführt werden.

Aus den Strukturelementen wie: ährentragende Stengel, Anzahl der Ährchen in der Ähre, Füllung der Ähre mit Korn und das Gewicht von 1000 Körnern, wiesen die Pflanzen derjenigen Varianten, welche die Nahrung im Lichtstadium erhalten hatten, die besten Resultate auf.

In denjenigen Fällen, wo die Pflanzen mit Wasser bespritzt wurden (Var. 3), und wo die Zusatzernährung durch die Blätter vor dem Lichtstadium durchgeführt wurde, waren zwar vollkommen ausgebildete Reproduktionsorgane vorhanden, aber die Pflanzen blieben ganz fruchtlos (Var. 4) oder wiesen eine ganz geringe Füllung der Ähre mit Korn auf.

Auf Grund der erhaltenen Resultate kann man folgende Schlüsse ziehen:

1. Bei Eliminierung eines der Mineralelemente aus der Nährlösung kann man diesen Mangel durch Einführen der entsprechenden Salze in den pflanzlichen Organismus durch die Blätter teilweise ersetzen, was eine fast normale Entwicklung der Pflanze und ihrer Fruchtbildung sichert.

2. Bei der Zusatzernährung durch die Blätter wurde festgestellt, dass die Periode, bei welcher die Pflanzen des Sommerweizens am besten auf die Phosphat-, Kalium- und Stickstoffernährung ansprechen, das Lichtstadium der Entwicklung erscheint, wobei der grösste Effekt bei Ernährung während dieses Stadiums mit Phosphat erhalten wurde.

Agrophysiologische Abteilung des Ukraïnischen Institutes für soz. Landwirtschaft. Kharkow.

Eingegangen den 13. VI. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] Э. Гельхорн. Проблема проницаемости и ее физиологическое и патологическое значение (1932). [2] Ж. Буссенго, Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии (1936). [3] A. Mayer, Landw. Versuchst., XVII (1874). [4] L. Hiltner, Die Ern. d. Pflanze, 8 (1912). [5] К. М. Домонтович и П. А. Железнов, Научн.-агр. журн., 2 (1930). [6] Ф. Ф. Манков, Р. Л. Фарфель и А. М. Левин, Соц. агротехника, 6 (1937).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

TIERPHYSIOLOGIE

PHYSIOLOGISCHE ADAPTATION UND GASAUSTAUSCH BEI FISCHEN

Von N. S. STROGANOW

(Vorgelegt von I. I. Schmalhausen, Mitglied der Akademie, den 30. VI. 1940)

Von uns wurden Untersuchungen des allgemeinen Gasaustausches (der Sauerstoffverbrauch, Ausscheidung von CO_2, NH_3, der Atmungsrhythmus) beim Gambusi während verschiedener physiologischer Zustände (Jungfische, bei denen das Geschlecht noch nicht differenziert war, Männchen, virginale Weibchen, trächtige Weibchen) und beim erwachsenen Barsch bei verschiedener Temperatur durchgeführt. Vor dem Versuch wurden die Fische bei einer bestimmten Temperatur gehalten. Sauerstoff wurde nach Rideal und Stewart, CO_2 durch Titrieren mit einer NaOH Probe bis zu pH =8.37 mit einer Korrektur auf die Verbindung mit NH_3 bestimmt. NH_3 wurde im Destillat mit dem Nessler'schen Reaktiv kolorimetrisch bestimmt.

Die erhaltenen Resultate können folgendermassen zur Kenntnis genommen verden:

1. Mit der Temperatursteigerung erhöht sich der Sauerstoffverbrauch, die Ausscheidung von CO_2, NH_3, und der Atmungsrhythmus wird schneller. Graphisch stellt sich die Veränderung dieser Prozesse mit dem Anstieg der Temperatur in zwei S-förmigen Kurven dar.

2. Der Übergang einer S-förmigen Kurve in die andere S-förmige Kurve fällt mit der Temperatur zusammen, bei der sich die Fische vor dem Versuch eine längere Zeit aufhielten. Diese Temperaturzone, die von mir als Adaptationstemperaturzone bezeichnet wird, beträgt beim Gambusi 5—7°C. In der Adaptationstemperaturzone verlaufen bei den Fischen die Prozesse des Sauerstoffverbrauchs, der CO_2 und NH_3 Ausscheidung mit höchster Beständigkeit. Mit anderen Worten, in dieser Temperaturzone hängt der physiologische Prozess am wenigsten von den Temperaturveränderungen innerhalb der äusseren Umgebung ab. D. h., der Gambusi (ebenso auch der Barsch) ist in bezug auf den Gasaustausch in der Adaptationstemperaturzone den homothermen Tieren ähnlich oder ihnen sehr nahestehend.

3. Für uns war nicht so sehr die quantitative Veränderung des Gasaustausches von Interesse, als das Verhältnis der Prozesse zueinander, die den Gasaustausch ausmachen. Wir nehmen an, dass vom physiologischen Standpunkt aus für den Organismus nicht so sehr die quantitative Zunahme des Gasaustausches mit einer Temperaturerhöhung das wesentlichste ist, als vielmehr die Veränderung im Verhältnis der Glieder zueinander, die diesen Prozess ausmachen.

Daher wurden von uns die Koeffizienten, die einige Beziehungen (Ausscheidung von CO_2 und Sauerstoffverbrauch—Atmungskoeffizient—RQ, Ausscheidung von ammiakalischen Stickstoff und Sauerstoffverbrauch—N/O; Sauerstoffverbrauch und Atmungsrhythmus—O/R) charakterisieren, bestimmt.

4. RQ und N/O sind in der Adaptationstemperaturzone die beständigsten, aber bei der Veränderung der Temperatur von der Zone weg, ändert sich der RQ und N/O. Mit einer Temperaturerniedrigung von der Adaptationstemperaturzone an erhöht sich bei allen untersuchten Fischen (Barsch und Gambusi) der RQ (RQ>1.0), mit der Erhöhung der Temperatur von dieser Zone an aber erniedrigt er sich um einiges (bei Männchen geht er bis auf 0.63) und in der Nähe der letalen Temperatur (35° für den Gambusi und 26° für den Barsch) erhöht sich der RQ wieder. Am stärksten ändert sich der RQ bei einer Temperaturverschiebung von der Adaptationstemperaturzone weg bei den trächtigen Weibchen und bei den geschlechtsreifen Männchen.

N/O verändert sich am stärksten bei den virginalen Weibchen und ist bei den trächtigen Weibchen am beständigsten. Die Menge von ammiakalischem Stickstoff, die bei den Gambusi ausgeschieden wird, ist 10 Mal weniger, als Sauerstoff verbraucht wird. Die ausgeschiedene Menge von ammiakalischem Stickstoff ist bei den virginalen Weibchen am höchsten, bei den Jungfischen am geringsten. Folglich werden bei den wachsenden jungen Fischen stickstoffhaltige Stoffe ökonomischer verwendet als bei ausgewachsenen Fischen.

Bei der Gegenüberstellung der Veränderung des RQ und N/O mit der Veränderung der Temperatur ist leicht zu sehen, dass bei einer Abweichung der Temperatur von der Adaptationstemperaturzone eine Veränderung der RQ und N/O nicht in gleichem Masse vor sich geht. Mit der Veränderung der Temperatur geht bei den virginalen Weibchen eine starke Veränderung des RQ wie auch des N/O vor sich, aber bei jungen Fischen und trächtigen Weibchen verändert sich der RQ stärker, und N/O verändert sich nur sehr wenig. Daraus lässt sich schliessen, dass die regulativen, adaptiven (im physiologischen Sinn des Wortes) Prozesse bei jungen und trächtigen Weibchen in der Hauptsache auf Kosten der nicht stickstoffhaltigen Stoffe (Kohlenwasserstoffe und Fette) verlaufen, bei den virginalen Weibchen aber auf Kosten von Eiweissen, Fetten und Kohlenwasserstoffen.

5. Von uns wurden Gambusi speziell an höhere Temperaturen (25—29°) adaptiert. Bei ihnen wurden alle dieselben Gesetzmässigkeiten erhalten, wie oben beschrieben, nur fällt der Übergang einer S-förmigen Kurve in die andere (Kurve des Sauerstoffverbrauchs, CO_2 und NH_3 Ausscheidung) mit dieser Adaptationstemperaturzone (25—29°) zusammen.

6. Die Sauerstoffaufnahme des Fisches bei einem Atemzug (O/R) bleibt nicht beständiger Grösse, sondern ändert sich mit der Veränderung der Temperatur. In der Adaptationstemperaturzone ist der O/R am höchsten (besonders beim Barsch), mit der Veränderung der Temperatur von der Adaptationstemperaturzone fällt der O/R. Mit der Erhöhung der Temperatur von dieser Zone wird nach einem anfänglichen Nachlassen wieder eine Steigerung des O/R beobachtet; wobei diese Steigerung des O/R beim Barsch nicht das Niveau erreicht, die sie in der Adaptationstemperaturzone hatte, bei den trächtigen Weibchen der Gambusi aber übersteigt sie dieses bedeutend. Mit anderen Worten, bei einer gewissen Erhöhung der Temperatur über die Adaptationstemperaturzone wird ein grösserer Sauerstoffverbrauch bei einem Atemzug, trotz einer bedeutenden Steigerung des Atmungsrhythmus und infolgedessen einer oberflächlicheren Atmung, beobachtet.

7. Nach diesen Beobachtungen wurden Versuche in bezug auf die Schnelligkeit der physiologischen Adaptation angestellt. Aus früheren Versuchen kann

man schliessen, dass Fische, die eine lange Zeit bei einer bestimmten Temperatur aufhielten, sich physiologisch an sie adaptieren. Es ergibt sich ein bestimmtes Niveau des Stoffwechsels mit bestimmter Koordination in den gegenseitigen Beziehungen zwischen den einzelnen Gliedern, die den Austausch ausmachen. Der Organismus baut sich irgendwie physiologisch etwas um, passt die sich koordinierenden Prozesse an die neue Temperatur an. Im Resultat solch eines Umbaus (oder wie ich dies als physiologische Adaptation bezeichne) verläuft der Prozess des Gasaustausches beständiger, wenig veränderlich durch die Temperaturschwankungen der äusseren Umwelt, innerhalb dieser neuen Adaptationstemperaturzone. Für die Klärung der Frage: wie schnell passen sich die Fische an die neue Temperatur an und wie ändert sich der Gasaustausch im Prozess der physiologischen Adaptation, wurden auch dann spezielle Versuche angestellt. Virginale und trächtige Weibchen des Gambusi, die vorher an eine Temperatur von 23—27° adaptiert waren, wurden dann aber allmählich mit einer Geschwindigkeit von 2—3° C in der Stunde bis zu einer Temperatur von 16° (bei einer Gruppe) und 10° (bei einer anderen Gruppe) abgekühlt. Nachdem die bestimmte Temperatur erreicht war, wurde der Gasaustausch bei den Fischen im Verlauf einer längeren Zeit bestimmt. Die Versuchstemperatur (16 oder 10°) wurde für die ganze Untersuchungsperiode beständig erhalten.

8. Bei einer solchen Überführung der Fische in eine herabgesetzte Temperatur (10°) wird ein ständiges Fallen des Gasaustausches mit der Länge der Zeit beobachtet, obgleich die Fische sich dauernd bei einer beständigen Temperatur von 10° befinden. Nach zweieinhalb bis drei Tagen vom Zeitpunkt an gerechnet, wo die Fische die Temperatur von 10° erreichen, gehen einige Gambusi (ungefähr 30% der Fische) ein. Alle virginalen Weibchen starben nach sieben Tagen, die trächtigen Weibchen aber nach vier Tagen.

Die Koeffizienten RQ und N/O wachsen stark an, und dabei bei den trächtigen Weibchen stärker als bei den virginalen. Zum Zeitpunkt des Todes erreicht der RQ bei den trächtigen Weibchen 3.9, bei den virginalen 2.76, der N/O aber erreicht bei den trächtigen Weibchen die Grösse von 0.45 und bei den virginalen 0.11 (bei normalen Bedingungen 0.07—0.08). Der Atmungsrhythmus und die Sauerstoffaufnahme der Fische bei einem Atemzug lässt während der ganzen Zeit nach.

So fällt mit der Zeit das Nachlassen des allgemeinen Sauersfoffverbrauchs mit dem Nachlassen des Atmungsrhythmus und des Sauerstoffverbrauchs in einem Atemzug zusammen. Hier ist klar zu sehen, dass bei einer solchen Versuchsanordnung die Gambusi nicht befähigt sind, sich physiologisch schnell an solch eine beschleunigte bedeutende Temperaturerniedrigung zu adaptieren. Folglich erfordert die physiologische Adaptation irgendwie Zeit, und ausserdem kann selbst der Umbauprozess von einem Niveau der physiologischen Prozesse (in erster Reihe der Austausch) auf ein anderes bei solch einer verhältnismässig schnellen Senkung der Temperatur sich nicht koordiniert vollziehen. Die physiologischen Prozesse sind für das neue Temperaturniveau «gebrochen», aber nicht «verbogen» (bildlich ausgedrückt).

9. Bei der Temperaturerniedrigung bis 16° wird anfangs (von dem Zeitpunkt an, wo 16° erreicht wurden) ebenfalls ein Fallen des ganzen Gasaustausches in den ersten 24 Stunden beobachtet, dann aber kommt es zu einer Vergrösserung des Gasaustausches, und zum 6—8. Tag erreicht ein beständiges Niveau (geprüft im Laufe eines Monats).

Die Koeffizienten RQ und N/O werden nach 3—4 Tagen ebenfalls beständige Grössen und lassen sich zahlenmässig dem Koeffizienten normaler Fische gleichsetzen.

Bei den Gambusi wird der Atmungsrhythmus in den ersten sechs Tagen nach der Temperaturerniedrigung bis auf 16° beschleunigt, dann aber wird

er langsamer und nach 15 Tagen wird er einer Grösse, die fast beständig auf dem Niveau bleibt, die er in den ersten Stunden, nachdem die Temperatur 16° erreicht hatte, zeigte.

Setzt man diese Fische, die im Laufe von 23 Tagen im Wasser von einer Temperatur von 16° gelebt haben, mit einer Temperaturerniedrigung von 2—3° je Stunde ins Wasser von einer Temperatur von 10° um, so wird in den ersten vier Tagen eine Veränderung im Gasaustausch beobachtet, die in ihrem Charakter (Kurvencharakter) den Veränderungen im Gasaustausch bei Fischen, die sich die ersten fünf Tage in einer Temperatur von 16° befinden, analog sind. Nachdem sich diese Fische vier Tage bei einer Temperatur von 10° befanden, erreicht der Gasaustausch eine bestimmte Grösse, die sich auf ein und demselben Niveau im Laufe einer langen Zeit (geprüft für die Dauer von einundeinhalb Monaten) hält.

Der Atmungsrhythmus und die Sauerstoffaufnahme der Fische bei einem Atemzug fällt doch allmählich.

Betrachtet man die Lebensdauer der Gambusi bei 10°, die von 25° zu 16° überführt wurden, so erhält man einen grossen Unterschied. Der stufenweise Übergang von höherer Temperatur zu niedrigerer ergibt die Möglichkeit, sich besser für die neue Temperatur umzubauen (sich physiologisch zu adaptieren), als wenn solch ein Übergang ziemlich schnell vollzogen wird, wo der Organismus nicht harmonisch die einzelnen Glieder, die den Gasaustausch ausmachen, physiologisch koordinieren kann. Der Prozess der physiologischen Adaptation (oder die physiologische Umstimmung) zur neuen Temperatur (von 25 zu 16° oder von 16 zu 10°) wird in der Hauptsache in den ersten 4 — 5 Tagen vollzogen.

Aus oben gesagtem ist zu ersehen, dass, erstens, eine Adaptationstemperaturzone existiert, wo die Prozesse, die den Gasaustausch ausmachen, äusserst koordiniert verlaufen, zweitens aber, bei einer Temperaturveränderung von dieser Zone weg, eine qualitative Veränderung im Austausch vor sich geht, sich eine Veränderung in den gegenseitigen Beziehungen der Prozesse vollzieht und folglich die Koeffizienten RQ, N/O und O/R sich stark verändern. Der Umbauprozess (die physiologische Adaptation) für das neue Niveau vollzieht sich umso leichter, je geringer die Temperaturveränderung ist.

Noch heute gibt es im wesentlichen keine Theorie der physiologischen Wirkung der Temperatur, es gibt aber Angaben der Physiko-Chemiker mit Formelbeilagen für Bioprozesse bei Temperaturveränderungen. Die Existenz der «biologischen Null», der «optimalen Zone», der «normalen Temperaturintervalle» bei allen Organismen, die die heutige Welt bevölkern, drängt darauf, eben auf diese physiologischen Besonderheiten besondere Aufmerksamkeit zu verwenden.

Laboratorium der Hydrobiologie
und Physikalisch-Chemischen Biologie
des Zoologischen Instituts der
Moskauer Universität.

Eingegangen
den 13. VI. 1940.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

EXPERIMENTAL MORPHOLOGY

ON THE VARIABILITY OF TISSUE PROTEINS IN THE COURSE OF REGENERATION OF ORGANS IN AMPHIBIA

By V. N. OREKHOVICH and T. P. SOKOLOVA

(Communicated by A. D. Speransky, Member of the Academy, 26. III. 1940)

Until recently in the study of protein metabolism of regenerating tissues attention was focussed mainly on the activity of proteolytic ferments ([1–10], [2], [3], [7], [12], [11] and others), while the possibility of changes in the tissue protein substratum in the course of regeneration was as good as neglected. It is, however, quite probable that such changes take place during regeneration. It is on account of this circumstance that the experiments reported in the present paper have been carried out.

As experimental material served axolotls. The tails of the animals were amputated, whereupon either the blastema or the already regenerated part of an organ and the following portions of the remaining tissue of the amputated organ: the first layer of underlying tissues (a part of the old tissues adjacent to the regenerating part of the organ) 1.5—2 mm thick and the second layer of underlying tissues 1.5—2 mm, were examined at intervals ranging from 2 to 64 days after the amputation. A 250 mg aliquot of the tissues was thoroughly ground and added with 0.5 cm^3 of a glycerine extract of rabbit liver diluted with 1.5 cm^3 of water and 3 cm^3 of citrate puffer pH 4.1+thymol.

The mixture was kept in a thermostat for 24 hours at a temperature of 37—38° C, after which 5 cm^3 of 10% trichloracetic acid were added.

The ability of the tissue investigated to protein splitting was evaluated after the increase of aminonitrogen. In the table is given the amount of aminonitrogen (in mg) per 1 g of digested tissue.

Intensity of Digestion with Catepsin of Proteins from Normal and Regenerating Tissues

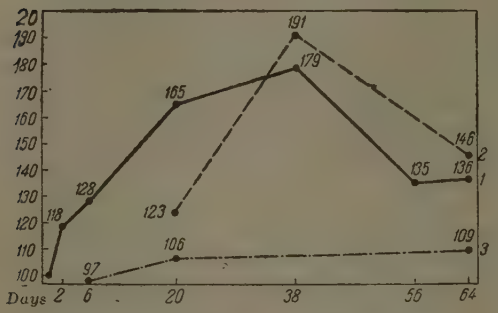
Series	Non-regenerating tissues	Age of regenerate in days															
		2		6		20			38			56			64		
		Blastema+u. t. I	u. t. II	Blastema+u. t. I	u. t. II	Blastema	u. t. I	u. t. II	Blastema	u. t. I	u. t. II	Blastema	u. t. I	u. t. II	Blastema	u. t. I	u. t. II
I	3.86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.99	—	—	5.23	3.75	6.60	4.87	4.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4.32	4.81	4.92	5.19	4.16	6.83	5.11	4.44	7.27	7.74	—	—	—	—	—	—	—
II	1.93	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.68	3.25	1.86	—	—	—
III	3.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.29	4.59	3.44

Note: u. t. I — 1st layer of underlying tissue; u. t. II — 2nd layer of underlying tissue.

The experiments showed that already on the second day of the regeneration of the organ a slight though distinct increase in the splitting ability of the regenerate proteins is observed. On the 6th day when the regeneration blastema is fairly well expressed, the digestibility of the proteins of the regenerate tissues considerably exceeds that of the proteins of non-regenerating tissues (see table).

Beginning with the 20th day of regeneration, the digestibility of the proteins of regenerating tissues is approximately twice that of the proteins of normal (non-regenerating) tissues. The culmination is reached about the 40th day (see diagram), though the proteins from a 50—60-day-old regenerate (a well formed new organ) are digested with catepsin far better than those of non-regenerating old tissues of the same organ.

It may be assumed that the observed increase in the digestibility of proteins from a regenerative blastema and a young regenerated organ is either due to the increase in the catepsin activity of the regenerating tissue, or to the increase in the amount of activators in these tissues.



Digestibility of proteins of regenerating and underlying tissues (digestibility of the normal tissue—100%); ——— blastema; — — — 1st layer of underlying tissue; —.—.—. 2nd layer of underlying tissue.

In order to check up the first assumption, experiments with boiled tissue pulp were carried out. It became evident that notwithstanding the denaturation of tissue proteins and destruction of the proper ferment of these tissues caused by boiling, the digestibility of proteins of the regenerating tissues is 1.5 and more times intenser than that of the proteins of normal tissues.

There is no ground either to connect the increased splitting ability of the proteins of regenerating tissues with the increase in the amount of activators in these tissues. According to Orekhovich's data ([1]), the contents of reduced glutathione system and other activators of proteolysis in regenerating tissues by the 30th day of regeneration is not above the norm, whereas the increased splittability of the tissue proteins of a young organ is retained up to the 60th day, attaining by the 30—40th day its maximum expression. It may thus be assumed that during the regeneration process not only an increase of the activity of proteolytic ferments of regenerating tissues takes place, but the digestibility of the proteins of these tissues is considerably increased as well.

The proteins of young (regenerated) organs are not stable, more labile than in the «old» tissues. This fact gains in interest especially in connexion with Orekhovich's investigations ([13],[14]) bearing on the dependence of the susceptibility to tumors on the state of the protein substratum of the tissues of animals.

Investigation of comparative digestibility of proteins in young and old animal organs are continued on mammals and birds.

In connexion with the experiments reported above there are reasons to believe that the assumption previously advanced by Orekhovich ([8]) as to the strict localization of the changes occurring in the protein metabolism during regeneration is correct. He has shown that already in the 2nd layer of the

underlying tissues, i. e. at a distance of 1.5—2 mm from the regenerating part of the organ, the catepsin activity of the tissues is quite up to the standart. The digestibility of the proteins of the tissues of the same region of the remainder of the amputated organ also proved equal to the standard (see table).

As to the observed increase in the catepsin activity and the increased digestibility of the proteins from the thin layer of the underlying tissues adjacent to the regenerative blastema, they may be fairly well explained by the difficulty of separating completely the tissues of the remainder of the old organ from those of the regenerating part of the organ.

Thus, we have obtained one extra proof as to the specificity of changes of the protein metabolism during regeneration compared with the changes in case of malignant growth. While in the case of malignant tumors changes in the protein substratum and ferments are observed in many tissues located at a great distance from the tumor, in the case of regeneration the changes of the protein substratum and the ferments are strictly limited to the regenerating section of the organ and do not extend to the other tissues and organs.

Department of Physiological Chemistry.
All-Union Institute of Experimental Medicine.
Moscow.

Received
3. IV. 1940.

REFERENCES

[1] V. N. Orekhovich, Z. f. Physiol. Chemie, **224**, 61 (1934). [2] Bromley and Orekhovich, Bioch. Z., **272**, 324 (1934). [3] Orekhovich, Bromley and Kuzmina, ibid., **277**, 186 (1935). [4] Orekhovich, ibid., **286**, 91 (1936). [5] Orekhovich, ibid., **248** (1936). [6] Orekhovich, ibid., **286**, 285 (1936). [7] Bromley and Orekhovich, Biol. gener., XI, 317. [8] Орехович, Бюлл. экспер. биол. и мед., III, 194 (1937). [9] Орехович, там же, VI, 230 (1938). [10] Орехович, Тр. ИЭМ, VI, 263 (1938). [11] Ryvkina and Striganova, Bull. Acad. Sci. URSS, sér. biol., **5**, 789 (1939). [12] Stroganova, ibid., **5**, 823 (1939). [13] Орехович, Биохимия, **3**, 456 (1938). [14] Орехович, Биохимия, **3**, 617 (1938).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

EXPERIMENTAL MORPHOLOGY

AN ATTEMPT AT EXPERIMENTAL HOMOPLASTIC TRANSPLANTATION OF TEETH IN THE DOG

By A. G. LAPCHINSKY and A. A. MALINOVSKY

(Communicated by I. I. Schmalhausen, Member of the Academy, 20. IV. 1940)

In our previous paper ([10]) we were able to show the possibility of successful grafting to a white rat of a tooth transplanted homoplastically. This is an additional evidence to the effect that in the case of mammals successful grafting of an organ transplanted homoplastically is practicable, which was until recently questioned by most authors.

We have found that the molar rudiment taken from a 20-day-old rat develops in the alien organism of a senescent rat unrelated to the young donor rat. Such a development takes place even when the tooth rudiment is transplanted heterotopically into the femur; 4 months after the operation the developed tooth does scarcely differ, even in size, though being somewhat smaller, than the normal teeth in the jaw of the senescent rat.

In connexion with these data the question arose to what extent the discovered ability to graft may be extended to other groups of mammals (including the man), or such homoplatic operations are practicable in rodents only?

The idea that the rodents alone are endowed with this particular capacity, seemed to us most improbable. Nevertheless, the fact was to be taken into account that the most convincing evidence of the possibility of successful homoplastic grafting of compound organs in mammals had been obtained by Schwind ([13]) and confirmed by Lapchinsky ([9]) in rats only (successful grafting of entire extremities).

It is also in rodents (rabbit) that Krymskaya and Lopyrin ([8]) have recently obtained the best results, compared with other authors, in transplanting homoplastically ovaries. Successful grafting of the transplants followed by pregnancy was observed by the authors, who applied a technique of their own, in 61% of cases (13 females operated upon have survived over 3 months). Although the experiments in question are far from being irreproachable as to the accuracy of elimination of the recipient's ovaries previous to transplantation*, it should, nevertheless, be admitted that the authors were also successful in obtaining in this case an actual graft.

On the other hand, Zavarzin ([14]) using the data by Yasvoin ([4],[5],[6]), Maximow ([12]), Alfejewa ([1]), Knoll ([7]) and many other authors who applied the comparative histological method to the study of the connective tissue

* According to the authors themselves, who pretend to have removed with scissors macroscopic regions of the ovarial tissue of the extirpated ovaries.

of various mammals, arrives at a conclusion that the rodents are characterized by a less differentiated connective tissue as compared to other mammals, whereas that of the dog as well as of the man is most differentiated.

In virtue of this Zavarzin believes that during reactive inflammatory phenomena, formative processes «proceed at a highest rate in mice and at the lowest in dogs». Finally, the presence of teeth which keep on growing during the entire period of life (the incisors), makes us to regard the rodents as a group standing somewhat apart among other mammals deprived of this character.

In the light of these data the possibility of obtaining in other mammals actual grafting of homoplastic transplants appeared rather doubtful. In spite of this we carried out respective experiments on dogs, these being nearer to the man. It is necessary to note that considering all possible difficulties we endeavoured to provide the most favourable conditions for grafting.

The experiments of tooth transplantation in dogs were carried out in accordance with the method used by us previously in our successful experiments of transplantation of rat teeth ([10]), i. e. we applied the method of transplantation of embryonic rudiments. In order to avoid any doubt as to the origin of the tooth developing after the operation, we also carried out heterotopical transplantations into the femur.

We used as donor a 20-day-old male puppy; it perished accidentally, owing to an operation which had nothing to do with our purpose. The transplantations were done 22 hours after the puppy's death; the transplants were taken from its body and kept at low temperature. As recipient was taken its sister originating from the same litter. In order to secure sterility of the material, the upper and the lower jaw were separated, and treated thoroughly with a 10% iodine solution; thereupon the mucosa was removed under aseptical conditions. The denudated jaw-bone was split longitudinally, teeth rudiments were extracted from the opened alveols and transferred into lysozyme solution*, where they remained for 20—30 min. necessary to prepare the area for the transplants. Simultaneously both femurs of the recipient were denuded by means of two incisions. The marrow cavities were opened, the smallest rudiments of molars were removed from the lysozyme solution and implanted into the cavities. The transplants presented translucent, soft, almost jelly-like formations. The rudiments were immersed entirely into the marrow cavities of the right and the left femur, one into each bone, the crown directed upward, so that the upper part of the rudiments was not allowed to project over the bone level. Besides, one extra tooth rudiment was implanted into the muscles and the skin on either side of the animal. Thereupon the muscles and the fascia were united by means of catgut, while the skin was sewn up with silk. The wounds healed per primam intentionem.

After a month, a hard gradually increasing tubercle could be felt on the right femur of the operated puppy in the region of the transplantation. 85 days after the operation the animal perished from some infection (canine disease) which affected two more puppies of our stock. The autopsy showed on the right femur a tooth with a reduced enamel crown provided with two tubercles (Fig. 1). The tooth was protruding 8 mm above the bone level. A massive muscular layer that was bound to compress the growing tooth considerably was found above it. No traces of the transplanted teeth could be found either in the left femur or in the soft tissues; probably, they under-

* The lysozyme was obtained by courtesy of Prof. Z. W. Ermoljeva (Laboratory of Biochemistry, All-Union Institute of Experimental Medicine).

went resorption as in the case of transplantation of tooth rudiments into the soft tissues of the rat ([10]).

An X-ray picture (Fig.2)*was taken of the preparation at the Central Roentgen Institute of the Commissariat for Public Health, which showed that besides crown and cervix protruding from the femur the developed transplanted tooth possessed two roots embedded in the marrow cavity (diagnosis by the head physician in charge of the Diagnostical department of the Institute, I. L. Tager). The growth direction of the roots and the crown are not in full correspondence; this deviation in the growth of the crown should possibly be attributed to the pressure of the muscular layer mentioned above and seen both in the X-ray picture and the photograph taken from the preparation (Fig. 1 and 2).

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 1. Photograph of the preparation. Tooth of a puppy developed in the femur (below) 85 days after the tooth rudiment of a 20-day-old brother puppy was transplanted into it. Two cusps of the crown are visible. A removed thick muscular layer which covered the tooth is seen laterally on the bone. Above—lower jaw of the puppy bearing teeth of the same age (control).

Fig. 2. X-ray picture of the same tooth preparation. Crown bearing two cusps. The tooth cervix is surrounded with outgrowths of the periosteum. Two developed tooth roots are seen in the marrow cavity. Laterally (above the bone)—shadow of removed muscular layer which covered the tooth.

Thus, in dogs as well as in rats with which we experimented before it is possible to obtain grafting of a non-differentiated tooth rudiment transplanted homoplastically; it develops and becomes differentiated into an enamel crown, cervix and roots, these parts becoming properly mineralized in due time. Consequently, rats or rodents as a whole do not seem to present an exception among other mammals in respect to their ability to give growth of homoplastical grafts.

True enough, in the given case the transplantation was carried out under particularly favourable conditions. First, the recipient was also a young puppy, which might have favoured grafting. Secondly, it was related to the donor being from the same litter; according to L. Loeb ([11]) who experimented on thyroid transplantation among guinea pigs varying in the grade of their relationship, such transplantations between close relatives are most successful, and the homotransplants undergo resorption at a much lower rate than in other cases. Thirdly, another favourable circumstance was presented by the fact that the rudiments used for transplantation were taken

* For their kind assistance in taking of the X-ray pictures thanks are due to I. L. Tager and A. O. Ruderman.

from a corpse and were preserved for a short time. According to W. Filatow's data ([2,3]) obtained in the course of homoplastic transplantations of the cornea in the man, a preserved corpse cornea grafts better than the non-preserved one.

However, it should be emphasized that in rats ([10]) we were able to obtain similar results when non-preserved tooth rudiments were transplanted onto a senescent rat, being no relative of the donor.

1) Actual grafting of tissues* transplanted homoplastically, as obtained formerly in rats, is quite possible in dogs as well (at least, in animals from the same litter). Consequently, the rodents do not present in this respect any exception among other mammals.

2) The tooth rudiment of the dog (similar to that of a rat) is independent in its development and may grow and become differentiated under heterogeneous conditions presented by the femur and even in the inner medium of an alien organism (of the same species).

3) The fact of the grafting ability and power of development of the tissue of the tooth rudiment applied 22 hours after the death of the donor-puppy is of special interest.

Institute for Experimental Biology.
Academy of Sciences of the USSR.

Received
21.IV.1940.

REFERENCES

[1] S. P. Alfejewa, Z. mikr. anat. Forsch., **9** (1927). [2] В. П. Филатов, Медичн. журн., VII, 3 (1937). [3] В. П. Филатов, Арх. биол. наук, **50**, 3 (1937). [4] G. Jasswoin, Z. mikr. anat. Forsch., **15** (1928). [5] G. Jasswoin, ibidem, **19** (1930). [6] Г. Ясвоин, Арх. биол. наук, 37 (1935). [7] Knoll, Z. mikr. anat. Forsch., **30** (1932). [8] М. К. Крымская и А. И. Лопырин, Пробл. эндокринол., **1** (1939). [9] A. G. Lapchinsky, C. R. Acad. Sci. URSS, XXVI, No. 7 (1940). [10] A. G. Lapchinsky and A. A. Malinovsky, ibidem, XXVI, No. 7 (1940). [11] L. Loeb, Journ. Med. Res., **41**, 2 (1920). [12] A. Maximow, An. Anz., **33** (1908). [13] I. V. Schwind, Journ. exp. Zool., **7** (1938). [14] А. А. Заварзин, Арх. биол. наук, **36**, 1 (1934).

* Although a tissue of the embryonic type was transplanted (tooth rudiment), it is important that finally grafting and development of a tooth in a 3-month-old dog took place, the developed tooth being deprived of any embryonic features.

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

EXPERIMENTALE MORPHOLOGIE

ZUR FRAGE NACH DER DETERMINATION DER HAFTFADEN BEI AMPHIBIEN

Von K. I. SYNGAJEVSKAYA

(Vorgelegt von I. I. Schmalhausen, Mitglied der Akademie, den 22. IV. 1940)

Die Frage nach der Determination des Haftfadens bei den Urodelen war Gegenstand einer Reihe von experimentalen Untersuchungen. Es genügt auf die Arbeiten von Harrison ([1]), Mangold ([2], [3]), Raven ([4], [5]) und Holtfreter ([6]) hinzuweisen. Diese Arbeiten zeigten, dass das ektodermale Epithel des Haftfadens ursprünglich nicht die Fähigkeit besitzt einen Haftfaden durch Selbstdifferenzierung zu bilden, und dass seine Determination mit Teilnahme der nachbarlichen Keimteilen zustande kommt. Die Induktion des Haftfadens wurde sowohl bei Transplantation der Archenteronwand, sowie auch von Teilen der Medullarplatte erhalten. Demzufolge meint Mangold ([2]), dass beide diese Teile in der normalen Entwicklung des Haftfadens teilnehmen, folglich dass der Haftfaden durch die gleichzeitige Wirkung von einigen Induktoren determiniert wird: durch die Wand des Archenterons, durch das Material der Ganglienleiste und durch das Auge, nämlich durch die Organe, welche bei einem normalen Keim den sich entwickelnden Haftfaden mehr oder weniger eng angrenzen. Später aber wurde es gezeigt, dass die Haftfaden durch solche Gewebe induziert werden können, welche gewiss mit der normalen Entwicklung des Haftfadens nichts zu tun haben (Holtfreters Arbeiten). So haben wir jetzt kein Recht aus der Tatsache, dass irgendein Organ einem Haftfaden im Experiment induzieren kann, zu schliessen, dass dieses Organ auch normalerweise der Induktor des Haftfadens sei. Für die Lösung der Frage, welcher Keimteil der Hauptinduktor des Haftfadens bei der normalen Entwicklung ist, wäre es von Bedeutung genau festzustellen, in welchen Stadien die Determination dieses Organs stattfindet, und zu welcher Zeit folglich der normale Induktor des Haftfadens zu wirken hat.

In Harrisons Versuchen ([1]) entwickelte sich der Haftfaden in einigen Fällen nach Transplantation von Ektodermstücken bei *Amblystoma punctatum* Embryonen im Stadium der sich schliessenden Medullarröhre und sogar im Stadium der weit offenen Medullarplatte (Stadien 15—16). Ziemlich ähnliche Resultate erhielt Carpenter in an *Amblystoma punctatum* Embryonen ausgeführten Experimenten. In zwei Fällen haben sich Haftfaden entwickelt nach Transplantation des präsumptiven Haftfadenektoderms im Stadium der eben geschlossenen Medullarröhre (Harrisons Stadien 19 und 20). In einem Falle hatte sich ein überzähliger Haftfaden nach Transplantation im frühen Neurulastadium entwickelt, diesen Fall hält aber die Verfasserin selbst für etwas zweifelhaft.

Um sichere Angaben über den Gegenstand zu bekommen, habe ich Experimente der Transplantation des präsumptiven Haftfadenektoderms bei Embryonen des gemeinen Wassermolches (*Triton taeniatus*) in verschiedenen Entwicklungsstadien vorgenommen. Operiert wurde zuerst in Schwanzknospenstadium, dann im Stadium der geschlossenen Medullarröhre und endlich in frühem Neurulastadium, wenn die Medullarplatte eben nur durch Pigmentation gekennzeichnet wird, nämlich im Stadium 13 nach Gläsners Normentafel ([7]) (die Stadien von 12 bis 20 in Harrisons und in Gläsners Tabelle stimmen fast genau überein). Die Transplantation wurde auf einen gleichalten, oder auf einen nur wenig älteren Keim ausgeführt. Als Ort der Transplantationen wurde der Kopf des Keimes gewählt, wo die Selbstdifferenzierungsfähigkeit des Haftfadenektoderms am leichtesten sich offenbaren könnte, sogleich eine, wenn auch noch nicht feste, Determination eingetreten war. Die Resultate meiner Experimente sind auf der Tabelle angegeben.

Stadium nach Gläsners Tabelle	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Kein überzähliger Haftfaden	7	4	4	20	16	30	23	8	7	7	2	1	0
Überzähliger Haftfaden vorhanden	8	4	6	0	3	9	4	3	2	4	2	6	1

Wie aus der Tabelle ersichtlich, wurde die Entwicklung von überzähligen Haftfaden schon nach Operationen im Stadium 13 beobachtet. Dass die Haftfaden sich aus dem transplantierten Ektoderm durch Selbstdifferenzierung entwickelt hatten und nicht irgendwie induziert wurden, beweisen solche Experimente, in welchen der Spender vor der Operation vital mit Nilblausulphat gefärbt wurde (Abb. 1, *a*).

Die Untersuchung der operierten Embryonen auf Schnittserien zeigte, dass die Basis der überzähligen Haftfaden keineswegs immer neben dem Palatoquadratum, mit welchem der normale Haftfaden gebunden ist, sich befindet, manchmal liegt sie im Gebiet des Hyoidbogens, sogar im Gebiet des ersten Kiemenbogens. Das Palatoquadratum hat also den Haftfaden nicht induzieren können.

Das Haftfadenektoderm ist im frühen Gastrulastadium noch nicht determiniert, im Stadium der frühesten Neurula ist die Determination des Haftfadenektoderms, wie unsere Experimente zeigen, schon vorhanden. Die Determination muss also im späten Gastrulastadium stattgefunden haben.

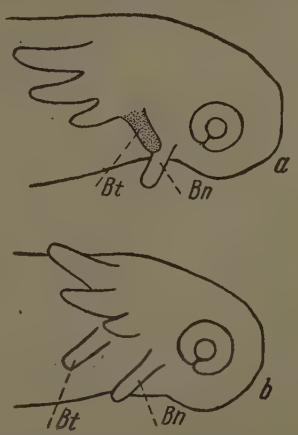


Abb. 1. Tritonlarven, welchen präsumptives Haftfadenektoderm transplantiert wurde. *Bn*—normaler Haftfaden; *Bt*—aus dem Transplantat entwickelter Haftfaden; *a*—Donor war im Stadium 15, gefärbt mit Nilblausulphat; *b*—Donor war im Stadium 13.

Wir können nun schliessen, von welchen Keimteilen die Determination des Haftfadens abhängen kann. 1) Das Material der Ganglienleiste kann nicht der normale Induktor des Haftfadens sein, da in den Stadien, in welchen die Determination des Haftfadens stattfindet, das Ganglienleistenmaterial in das ventrale Gebiet, wo der Haftfaden sich entwickelt, noch nicht mig-

riert hat. 2) Da zur Zeit der Determination des Haftfadenektoderms die Medullarröhre noch nicht geschlossen ist, ja die Medullarplatte sogar noch weit offen liegt, kann in diesen Stadien noch kein Kontakt zwischen dem Haftfadenektoderm und dem Gehirn existieren. Die Augenblasen reichen in diesen Stadien auch nicht zum Hautektoderm. Weder das Gehirn noch das Auge können also normale Induktoren der Haftfaden sein. 3) Es bleibt nur noch die Wand des Archenterons übrig, welche zur Zeit der Determination des Haftfadens dem präsumptiven Haftfadenektoderm dicht anliegt und offenbar die Rolle des Hauptinduktors dieses Organs spielt. Dieser Schluss ist in gutem Einklang mit der Tatsache, dass bei den von Lopaschov ([8]) erhaltenen «nervenlosen Embryonen» die Haftfaden ziemlich normal entwickelt sein können, trotz der völligen Abwesenheit des Gehirns und des Ganglienleistenmaterials. Selbstverständlich, schliessen die von mir erhaltenen Resultate die Möglichkeit nicht aus, dass neben dem hauptsächlichen, primären Stimulator die Entwicklung des Haftfadens im weiteren noch von anderen Nachbarschaftseinflüssen abhängig ist, von Einflüssen nämlich, welche die Determination des Haftfadens bekräftigen und die Realisation seiner Differenzierung begünstigen.

Zoologisches Institut.
Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR.
Kiew.

Eingegangen
den 23. IV. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] R. G. Harrison, Journ. Exper. Zool., **41** (1925). [2] O. Mangold, Zoolog. Anzeig., Supl. 5 (1931). [3] O. Mangold, Naturwissenschaften (1933). [4] Chr. P. Raven, Proc. Konink. Akad. Wet. Amsterdam, **34** (1931). [5] Chr. P. Raven, Roux'Arch., **130** (1933). [6] J. Holtfreter, ibid., **132** (1935). [7] L. Gläsner, Keibel's Normentafeln, **14** (1935). [8] G. W. Lopaschov, C. R. Acad. Sci. URSS, XV (1937).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

EXPERIMENTALE MORPHOLOGIE

DIE VERHÄLTNISSE ZWISCHEN VERSCHIEDENEN TYPEN VON KORRELATIONEN IN DER ENTWICKLUNG DER EKTODERMALEN MUNDEINSTÜLPUNG BEI DEN AMPHIBIEN

Von B. I. BALINSKY

(Vorgelegt von I. I. Schmalhausen, Mitglied der Akademie, den 22. IV. 1940)

In einer früheren Arbeit (1) habe ich über meine Experimente berichtet, welche sich auf die Abhängigkeit in der Entwicklung vom der ektodermalen Mundeinstülpung von dem Entoderm des Mundgebietes beziehen. Diese Experimente zeigen, dass das Entoderm indem es mit dem Ektoderm im Mundgebiet in Kontakt tritt, auf jenes eine induktive Wirkung ausübt, welche die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung hervorruft. Nach Herstellung des Kontaktes zwischen dem Ektoderm und dem Entoderm im Mundgebiet bekommt das Ektoderm die Fähigkeit zur autonomen Entwicklung der Mundeinstülpung, welche auch nach später stattfindender Beseitigung des Entoderms vor sich gehen kann und ist desto vollständiger, je länger der Kontakt mit dem Induktor dauerte. Während des Frühlings 1939 habe ich die Untersuchung dieses Problems fortgesetzt und neues Material erhalten, das unser Wissen über die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung noch vertiefen kann. Die Experimente, wie früher, bestanden in der Extirpation eines bedeutenden vorderen Teils des Entoderms, inklusiv das Mundentoderm bei *Triton taeniatus* Embryonen in verschiedenen Entwicklungsstadien (vom Blastulastadium bis zum Schwanzknospenstadium—Harrisons Stadien 9—25). Die Resultate dieser Experimente (einschliesslich die früheren) sind auf der Tabelle angegeben (Tab. 1).

Infolge der Vergrösserung des Versuchsmaterials (mehr als um ein dreifaches), welches jetzt ziemlich gleichmässig alle Stadien überdeckt, bekommt man ein sehr übersichtliches Bild der Versuchsresultate. Unsere Data zeigen eine sehr allmähliche Steigerung der Determination der ektodermalen Mundeinstülpung. Vor dem Beginn der Gastrulation (Stadium 9) ist eine Fähigheit zur autonomen Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung nicht vorhanden, später erscheint sie, wird allmählich grösser (was sich sowohl in der Vergrösserung der relativen Zahl der gebildeten Mundeinstülpungen, sowie auch in der Erhöhung ihres Vollständigkeitsgrades offenbart), endlich vom Stadium 21 an werden die Munde auch nach Extirpation des Entoderms jedesmal gebildet, und dazu sind sie meistens vollständig entwickelt. Das bis jetzt gesagte entspricht sehr gut der Voraussetzung, dass die Mundeinstülpung von dem Mundentoderm induziert wird und dass seine Determination mit der Dauer der Wirkung des Induktors zunimmt. Gänzlich andere Verhältnisse wurden aber aufgedeckt wenn ich die Frage aufstellte, wovon die Ungleichmässigkeit des Schicksals derjenigen Embryonen abhängt, welche nachdem die Determination erschien, aber bevor sie fest geworden war (Stadien 10—20) operiert wurden, warum nämlich nach Extirpation des Entoderms bei einem Keime die Mundeinstülpung gebildet wird, und bei einem

Tabelle 1

Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung nach Extirpation des oralen Entoderms in Abhängigkeit vom Operationsstadium

Operationsstadium	Kontakt zwischen Ektoderm und Entoderm im Mundgebiet wiederhergestellt	Zwischen Ektoderm und Entoderm kein Kontakt			
			Mundeinstülpung vorhanden		
		Einstülpung nicht entwickelt	Mund sehr rudimentär	Mund verkleinert	Mund fast normal
9	12	12	—	—	—
10	—	10	1	—	—
11	9	13	1	1	—
12	11	12	1	—	—
13	5	7	2	—	—
14	—	7	1	1	1
15	1	3	—	4	1
16	1	2	1	—	—
17	—	3	—	—	—
18	1	1	—	1	1
19	2	1	2	1	1
20	—	1	—	2	1
21	—	—	—	—	3
22	—	—	1	1	3
23	—	—	—	1	1
24—25	—	—	—	—	3

anderen im selben Stadium operierten Keime, nicht. Eine genauere Untersuchung der operierten Keime zeigte, dass das Vorhandensein oder die Abwesenheit der ektodermalen Mundeinstülpungen in engstem Zusammenhang mit dem Grad der Vollständigkeit der Entwicklung des Kopfes als Ganzem steht. Infolge der Extirpation des vorderen Teils des Archenterons sind in meinen Experimenten Defekte in der Entwicklung des Kopfes entstanden, nämlich zyklopische Defekte verschiedenen Grades. Bei kleinen Defekten können die paarigen Organe des Kopfes nur etwas genähert sein, oder es ist nur ein Geruchsorgan vorhanden, oder endlich die Augen sind untereinander verschmolzen aber besitzen zwei Pupillen (Synophthalmie). Bei grösseren Defekten wird eine völlige Zyklopie beobachtet, manchmal fehlen die Geruchsorgane gänzlich. Bei noch grösseren Defekten fehlen auch die Augen, manchmal wird auch die Ohrenregion nicht gebildet, so dass vom Kopfe kein Rest übrig bleibt. Ich fand, dass bei Vorhandensein ähnlicher Defekte die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung stark gehemmt wird, meistens fehlt der Mund in solchen Fällen überhaupt. Die Abhängigkeit der Differenzierung des ektodermalen Mundes von der Entwicklung des Kopfes als Ganzem sieht man sehr gut, wenn man alle Fälle, in welchen das Mundentoderm abwesend ist, nicht nach dem Operationsstadium, sondern nach der Vollkommenheit der Entwicklung des neuralen Teiles des Kopfes klassifiziert (Tab. 2):

Tabelle 2

	Mund abwesend	Mund rudimentär	Mund besser entwickelt
Neuralteil des Kopfes normal	0	9	15
Schwacher zyklopischer Defekt	11	9	0
Starker zyklopischer Defekt	25	2	0
Augen (manchmal sogar der ganze Kopf) fehlen	36	2	0

Die Tabelle 2 bringt die Abhängigkeit in der Entwicklung des Mundes von der Entwicklung des ganzen Kopfes mit solcher Deutlichkeit zum Vorschein, dass man schliessen könnte, der Kontakt mit dem Entoderm sei überhaupt von keiner Bedeutung und die Mundbildung sei ausschliesslich durch die Entwicklung des Kopfes als Ganzem bestimmt. Dieser Schluss wäre aber nicht richtig. In manchen Fällen wird der Kontakt zwischen dem Ektoderm und Entoderm im Mundgebiet nach der Operation wiederhergestellt, und in solchen Fällen wurden ektodermale Mundeinstülpungen gebildet, manchmal trotz sehr bedeutender Defekte im neuralen Teile des Kopfes (völlige Zyklopie; Abwesenheit des ganzen vorderen Teils des Kopfes mit Geruchsorganen, Augen, Vorderhirn, Zwischenhirn und teilweise auch Mittelhirn). Eine Induktion seitens des Entoderms kann also die Bildung einer ektodermalen Mundeinstülpung auch in einer, was den Kopf als Ganzes betrifft sehr ungünstigen Situation hervorrufen.

Ich schliesse, dass die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung von zweierlei Faktoren abhängt: von einer induktiven Wirkung seitens des oralen Entoderms und von einem Faktor der Regionalität, von welchem die Entwicklung von bestimmten Komplexen der Kopforgane, einschliesslich der ektodermalen Mundeinstülpung, abhängt. Den Faktor der Regionalität bin ich geneigt mit dem cranio-caudalen Gradient des Keimes zu identifizieren ([2]). Für die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung bei Schwanzlurchen ist die induktive Wirkung offenbar der Hauptfaktor, welcher die Bildung dieser Anlage hervorruft, der Regionalitätsfaktor (der Gradient) seinerseits begünstigt die erfolgreiche Entwicklung der ektodermalen Mundanlage. Laut den Resultaten unserer Experimente kann eine Induktion seitens des Entoderms die Bildung der ektodermalen Mundeinstülpung auch dann hervorrufen, wenn das Niveau des Gradienten, welches für die Entwicklung des ganzen Komplexes der Organe des Vorderkopfes nötig ist, fehlt. Es ist aber wohl möglich, dass ein minimales Niveau des Gradienten unentbehrlich ist, damit die Entwicklung der ektodermalen Mundeinstülpung stattfinden könne. Vielleicht erklärt sich dadurch das Fehlen einer Selbstdifferenzierung von präsumptiven Mundektoderm in Ströers Versuchen ([3]), wenn es in die Rumpfregion transplantiert wurde.

Zum Schluss möchte ich noch hinweisen, dass die relative Bedeutung der beiden Formen der Korrelation: des Induktionsfaktors und des Regionalitätsfaktors (des Gradienten), sich wahrscheinlich während der Evolution verändert hatte. Der Regionalitätsfaktor, der bei den Urodelen nebensächlich ist, kann ein Hauptfaktor der Mundentwicklung bei den niederen Deuterostomia, solange die induktive Wirkung noch nicht ausgebildet wurde, gewesen sein. So wissen wir aus den Arbeiten von Hörstadius ([4], [5], [6]) dass die Bildung der ektodermalen Mundeinstülpung sowie auch des ganzen Komplexes der animalen Organe (Vimperschopf, Vimperschnur u. s. w.) bei den Seeigeln durch die animale und vegetative Gradienten beherrscht wird.

Zoologisches Institut.
Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen SSR.
Kiew.

Eingegangen
den 23. IV. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] B. I. Balinsky, C. R. Acad. Sci. URSS, XXIII (1939). [2] Б. И. Балинский, Успехи совр. биол., **11** (1939). [3] W. F. H. Ströer, Roux' Arch., **130** (1933). [4] S. Hörstadius, Acta zool., **9** (1938). [5] S. Hörstadius, Publ. Staz. zool. Napoli, **14** (1935). [6] С. Херстадиус, Успехи совр. биол., **7** (1937).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

EVOLUTIONSMORPHOLOGIE

ZU DEN ERSCHEINUNGEN DER REDUKTION IN DER MORPHOLOGIE DER IMAGINES DES GROSSEN FROSTSPANNERS (*ERANNIS DEFOLIARIA* Cl.)

Von A. MACHOTIN

(Vorgelegt von I. I. Schmalhausen, Mitglied der Akademie, den 7. V. 1940)

Vorliegende Mitteilung ist der zweite Teil der Arbeit, die dem Vergleich des Baues der ausgebildeten Formen der grossen Frostspanner und der kleinen Frostspanner gewidmet ist. Der erste Teil dieser Arbeit wurde schon früher (1936) [3] veröffentlicht, die Folgerungen der vergleichenden Analyse beider Formen wurden jedoch in einer besonderen Mitteilung gebracht.

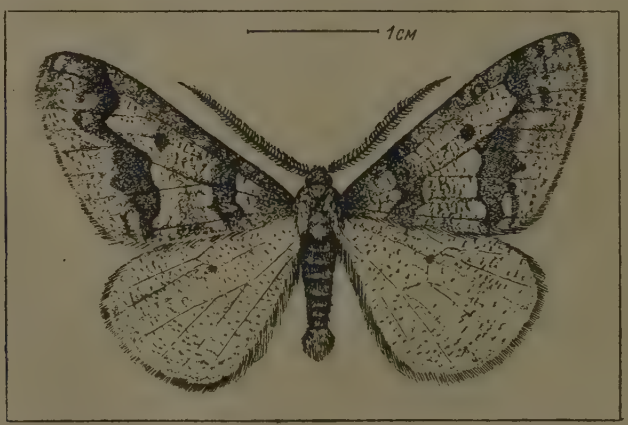


Abb. 1. Männchen des grossen Frostspanners (*Erannis defoliaria* Cl.). Ansicht von der Rückenseite.

Der Bau der ausgebildeten Männchen der grossen Frostspanner kann im allgemeinen als typisch für die Mehrheit der Spanner (Abb. 1) angesehen werden. Die Flügel sind bei ihnen gut entwickelt, was ihnen die Möglichkeit gibt nicht schlecht zu fliegen. Stark entwickelte Sinnesorgane sind für die fliegenden Männchen der Spanner normal. Nur der Verdauungsapparat ist bei ihnen einer Reduktion unterworfen. Die Färbung des Körpers und ganz besonders der Flügel ist äusserst veränderlich; die Männchen sind in der Hauptsache in einem rötlich-grauen Ton gefärbt. Ihr Körper ist schwach von

langen dünnen Härchen bedeckt, die etwas dichter auf dem Hals und der Vorderbrust, wo sie eine Art Mähne bilden, verteilt sind.

Im Gegensatz dazu erinnert das Weibchen der grossen Frostspanner sehr wenig an einen Schmetterling (Abb. 2). Seine Flügel sind so klein, dass es vollkommen flügellos erscheint, und das umso mehr, da diese Flügelrudimente von einer sehr dichten Decke von Schüppchen, die von weisser und schwarzer Farbe sind, verdeckt werden. Auf dem Körper befinden sich nur sehr wenige Härchen und diese sind viel kürzer als bei den Männchen. Die Sinnesorgane sind bei den Weibchen bedeutend schwächer als bei den Männchen. Bei den Weibchen zeigen sich nur die Eierstöcke und Beine progressiv entwickelt. Der Kopf der Männchen der grossen Frostspanner ist grösser als bei den Weibchen. Dieser Unterschied wird in der Hauptsache durch die Grösse der Augen bedingt, während die Stirnbreite im Mittel gleich ist. Durch den Unterschied in Grösse und Lage der Augen ist die Form der Schädelkapsel verschieden; der Winkel, der von den Seitenwänden der Stirn gebildet wird, ist bei den Männchen ungefähr 34° gleich, bei den Weibchen aber 14°. Die Laden des reduzierten Rüssels sind bei den Männchen grösser, als bei den Weibchen, und betragen ungefähr ein Drittel der Kopfhöhe, bei den Weibchen sind sie jedoch ungefähr dem Viertel der Kopfhöhe gleich.

Abb. 2. Weibchen des grossen Frostspanners (*Erannis defoliaria* Cl.). Seitenansicht.

Bei Männchen und Weibchen ist besonders der Bau der Brust unterschiedlich. Die Vorderbrust ist bei beiden Geschlechtern am ähnlichsten. Im Gegensatz dazu ist die Mittelbrust viel weniger ähnlich. In der Pleuralregion der Mittelbrust der Männchen bilden die einzelnen Sklerite, die durch eine Naht verschmolzen sind, einen starken Seitenpanzer, der den Flügeln und der Flugsmuskulatur als Widerstand dient. Bei den Weibchen liegen die pleuralen Sklerite in einer dünnen Haut, die an die Zwischensegmenthaut erinnert. Die Zahl der Sklerite ist nicht verringert, ja im Gegenteil es besteht eine, freilich sehr unbedeutende Erhöhung ihrer Anzahl, was als ein atavistisches Merkmal angesehen werden kann, das als Resultat des Verlustes der Verbindung der einzelnen Elemente, die für die Vergrösserung der Festigkeit der Seitenwände des Körpers unbedingt nötig sind, auftritt.

Bei den Weibchen ist das Chitin aller Teile des Körpers etwas dicker als bei den Männchen. So wird also die Festigkeit des Chitinskeletts des Männchens, die zum Flug unbedingt nötig ist, durch eine besondere Konstruktion erreicht, nicht aber durch die Dicke, die eine bedeutende und schädliche Belastung des Tieres hervorrufen würde. Wir haben hier also ungefähr dasselbe, wie bei den Vögeln, die flugunfähig geworden sind, bei denen eine Verdickung und Gewichtserhöhung des Knochenskeletts eintritt.

Die Flügel der Männchen sind, wie schon erwähnt wurde, gut entwickelt und in bezug auf die Proportionen und Äderung, die für die Unterfamilie der *Geometrinae* typisch sind, wenig veränderlich. Die Färbung der Flügel ist jedoch sehr veränderlich, was mit der für Schmetterlinge ungewöhnlichen Schlupfzeit und der Existenz der Imago-Stadien in einer Jahreszeit, die in klimatischer Beziehung ungünstig ist, in einer Periode negativer biotischer Faktoren, die sich in der Hauptsache als nicht ausgeprägt vorfinden, erklärt werden kann. Die Flügel des Weibchens des grossen Frostspanners sind kleine

sackförmige Gebilde, die von hellen Schüppchen verdeckt sind, und wie schon von A. Baus (1) erwähnt wurde, Gruppen von Sensillen tragen. Die Anwesenheit streng bestimmter Gruppen von Sensillen auf den reduzierten Flügeln weist darauf hin, dass gleichzeitig mit dem Verlust der Flugfunktion ein Wechsel dieser Hauptfunktion des Flügels nach dem Typus des Funktionswechsels von A. Dorn vor sich ging, und die reduzierten Flügel sich in Sinnesorgane unbekannter Bedeutung umwandelten.

Die Gliedmassen sind bei beiden Geschlechtern gut entwickelt; bei den Weibchen etwas stärker in bezug auf die Grösse wie auch in bezug auf die Muskulatur. Dies steht wahrscheinlich damit im Zusammenhang, dass für die Weibchen das Kriechen die einzige Art der Fortbewegung ist, während im Gegensatz dazu, die Männchen hauptsächlich mit Hilfe der Flügel ihren Ortswechsel vollziehen.

Der Hinterleib ist im allgemeinen normal; bei den Weibchen ist er stark aufgetrieben, von walzenartiger Form und sein hinteres Ende nach unten abgebogen, was dem Weibchen ein etwas buckliges Aussehen gibt.

Der äussere Geschlechtsapparat der Männchen ist von kompliziertem Bau und kann als charakteristisches systematisches Merkmal der Gattung *Erannis* dienen.

Die Flugsmuskulatur der Brust ist bei den Männchen typisch für fliegende Schmetterlinge. Bei den Welbchen ist diese Muskulatur sehr stark reduziert. Allerdings betraf die Reduktion nicht die Anzahl der einzelnen Muskeln, sondern nur die Masse der Muskelfasern. Beim Weibchen kann man alle Muskeln finden, die den Männchen eigen sind, aber diese Muskeln sind von ausserordentlich geringer Grösse.

Das Verdauungssystem ist bei beiden Geschlechtern reduziert. Bei den Männchen ist die Kehle nicht schlecht entwickelt, ebenfalls auch ihre Muskulatur nicht, die von der Wand der Kehle zur Wand der Schädelkapsel zieht. Auf die Kehle folgt eine lange enge Speiseröhre, in der man Luftbläschen auffinden kann. Der Kropf ist sehr stark entwickelt, ausserordentlich dünn und von Gas angefüllt. Indem er den Brustteil und einen grossen Teil des Hinterleibes ausfüllt, dient der Kropf als aerostatischer Apparat. Die Anwesenheit von Gas im Kropf wurde für eine Reihe Schmetterlinge von Parfentjew (4), Peterson (5), von mir (3) für den Frostspanner u. a. beschrieben. Nach meinen vorläufigen Angaben ist ein Hypoderm im Kropf nicht vorhanden. Die entwickelte Kehle und ihre Muskulatur, die Luftbläschen in der Speiseröhre, lassen vermuten, dass der Kropf von Luft aufgetrieben ist, die durch die Mundöffnung und die Speiseröhre hereingepumpt wurde. Andererseits ist es möglich, dass das Gas aus dem umgebenden Gewebe in den Kropf ausgeschieden wird, wie dies bei den abgeschlossenen Blasen der Fische der Fall ist, bei denen auf diese Weise die Schwimmblase gefüllt wird. Der Enddarm ist gut entwickelt und dient in der Hauptsache der Aussonderung der Stoffwechselprodukte aus den sechs Malpighischen Gefässen. Mit dem Enddarm steht der gut entwickelte und mit einer besonderen Muskulatur versorgte Blinddarm (coecum) in Verbindung. Das Verdauungssystem der Weibchen ist dem der Männchen sehr ähnlich. Der Unterschied besteht in der Hauptsache darin, dass bei den Weibchen der Kropf kleiner ist als bei den Männchen. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass der Kropf bei den kriechenden Weibchen seine Bedeutung als aerostatischer Apparat natürlicherweise verliert.

Der innere Geschlechtsapparat beider Geschlechter ist normal, beim Weibchen aber ist er offenbar hypertrophiert. Verhältnismässig grosse Eier, die in bedeutender Menge entwickelt werden, füllen den ganzen Hinterleib und gehen teilweise in das Gebiet der Brust.

Das Nervensystem beider Geschlechter ist für die Schmetterlinge typisch.

Bei den Männchen ist das Kopfhirn grösser als bei den Weibchen, was mit der stärkeren Entwicklung der Augen im Zusammenhang steht. Diese Abhängigkeit der Grösse des oberen Schlundganglions von der Grösse der Augen wurde auch schon früher erwähnt. Die Antennen der Männchen sind kammförmig, haben auf jedem Gliede zwei Paar Auswüchse und sind mit einer grossen Zahl von Sensillen versorgt. Bei den Weibchen sind die Antennen einfach, fadenförmig, von Schuppen verdeckt. Die im Verglecih zu den Weibchen starke Entwicklung der Antennen der Schmetterlingsmännchen ist sehr weit bekannt und wird gewöhnlich damit in Zusammenhang gebracht, dass die Antennen, die in erster Linie Geruchsorgane sind, den Männchen zum Auffinden der Weibchen dienen. Die Tympanalorgane, die in der Hinterleibsbasis gelegen und bei den Männchen gut entwickelt sind, sind bei den Weibchen nur kleine Rudimente, wobei sie die direkte Korrelation zwischen der Flügelentwicklung und den Tympanalorganen bestätigen, die von I. Gohrbandt ([2]) entdeckt wurde.

Der Vergleich des Baues des Männchens und des Weibchens des grossen Frostspanners erlaubt zu bemerken, dass der Geschlechtsdimorphismus bei dieser Form sich auf sehr viele Organsysteme ausdehnt. Der Unterschied des Weibchens ist in der Hauptsache durch den Regress einer ganzen Anzahl von Organen ausgeprägt; als Ausnahme zeigen sich das Geschlechtssystem und die Beine, die im Vergleich zu den Männchen bei den Weibchen progressiv entwickelt sind.

Laboratorium der Morphologie der Wirbellosen.
Sewertzoff Institut für Evolutionsmorphologie.
Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

Eingegangen
den 7. V. 1940.

ZITIERTE LITERATUR

[1] A. Baus, ZS. Morphol. Ökol. d. Tiere, **32**, 1 (1936). [2] I. Gohrbandt, ZS. Wissen. Zool., **151**, 1 (1938). [3] A. Machotin, C. R. Acad. Sci. URSS, XI (1936). [4] И. А. Парфентьев, Русс. Зоол. журн., IV, 3/4 (1924). [5] W. Petersen, Зап. Имп. Ак. Наук, IX, № 6, сер. VIII (1900).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PALÉONTOLOGIE

LE CYSTIDÉ *CORYLOCRINUS* ET LA SUBDIVISION DU SILURIEN INFÉRIEUR DE L'OURAL

Par N. YAKOVLEV, membre correspondant de l'Académie

A. Olli a fait parvenir à D. Nalivkin une collection de fossiles provenant du Silurien inférieur du haut cours de la rivière Ousva dans l'Oural. Cette collection comprend un échantillon assez bien conservé de cystidé de la famille des *Caryocrinidae*. Il convient de dire qu'on connaissait déjà de l'Oural des restes de cystidés non déterminables de plus près—plaques séparées que j'ai attribuées à la famille des *Caryocrinidae* (1). Le plus plausible était d'admettre qu'il s'agissait du genre baltique *Hemicosmites*. Cependant, lorsque j'eus dégagé de la roche le cystidé de l'Ousva, il se trouva être proche du genre *Corylocrinus* v. Koenen, connu de l'Espagne et du Midi de la France et intéressant tant par son étroite extension géologique verticale que par ses caractères morphologiques.

Le genre *Corylocrinus* se distingue suivant Iaekel (2) par une couronne latérale médiane composée de 8 plaques, par la situation de l'ouverture anale dans la couronne latérale médiane, par des plaques de la couronne latérale supérieure plus hautes que larges et par le rapprochement des bases des «doigts» (terme créé par Iaekel pour les appendices brachiaux).

Hemicosmites diffère de *Corylocrinus* en ce que la couronne latérale médiane y est constituée de 9 plaques et l'ouverture anale s'y trouve dans la couronne latérale inférieure. *Caryocrinites* s'en distingue par le fait que l'ouverture anale est située dans la couronne latérale supérieure et que les doigts sont écartés du pôle supérieur du calice par suite du développement ici de plaques complémentaires.

Corylocrinus ressemble à *Hemicosmites* par la position rapprochée, quoique non identique, de l'ouverture anale, par la proximité des doigts du pôle supérieur du calice et par leur nombre (3 chez *Hemicosmites*, 6 chez *Corylocrinus*).

Corylocrinus rappelle *Caryocrinites* par la disposition de l'ouverture anale et par le nombre des plaques (8) de la couronne latérale médiane.

Corylocrinus occupe une position intermédiaire entre *Hemicosmites* et *Caryocrinites* également par son extension géologique—partie supérieure du Silurien inférieur, *Hemicosmites* se rencontrant dans la partie inférieure du Silurien inférieur et *Caryocrinites* dans le Silurien supérieur.

Le représentant ouralien de *Corylocrinus* est une forme nouvelle, à laquelle je donne le nom de *Corylocrinus ollii* n. sp.

Forme générale du calice fusiforme trapue. Plaques basales et latérales inférieures (1) les plus grandes de toutes et presque de la même hauteur. Deux des quatre plaques basales sont comme doubles, leur moitié supérieure ayant l'aspect de la lettre W.

Les deux plaques complémentaires de la couronne latérale médiane (couvertes de points sur le diagramme) sont symétriques par rapport à

l'interradius anal (indiqué par une ligne pointillée verticale), la structure générale du calice présentant une symétrie bilatérale par rapport à celui-ci.

La bouche est nettement trilobée; à l'extrémité des lobes se trouvent des protubérances pour l'articulation des doigts. L'ouverture anale est disposée dans la couronne latérale supérieure (dont les plaques sont basses), tout près de la bouche. A côté de l'anus, assez grand (1.5 mm de diamètre), à sa gauche, il y a apparemment une petite ouverture (environ 0. 5 mm de diamètre), qu'on peut considérer comme hydropore +gonopore (ouverture pariétale). Les ouvertures des rhombopores des plaques du calice sont disposées, de même que chez *Hemicosmites*, sur les plaques latérales médianes seulement à leur moitié inférieure.

Notre espèce se distingue des espèces déjà connues de *Corylocrinus* par la situation plus élevée de l'ouverture anale, ce qui ne s'oppose pas toutefois

Diagramme de la structure du calice de *Corylocrinus ollii* n. sp. et vue latérale où l'on voit sur l'axe vertical du calice la plaque l_1, et la plaque située au-dessue d'elle, couverte de points sur le diagramme.

à son attribution à ce genre, vu que la disposition de l'anus dans les limites du genre chez les *Caryocrinidae* est sujette à d'assez grandes variations, étant tantôt plus haute, tantôt plus basse dans le calice.

Notre espèce représente le terme extrême de la rangée, suivant laquelle s'opère en général chez les *Caryocrinidae* le déplacement de l'anus vers le haut, et elle se rapproche au maximum de *Caryocrinus* pour ce qui concerne la position de cette ouverture.

Dimensions de notre forme: hauteur du calice 22 mm; diamètre maximum (moyenne de deux mesures perpendiculaires, vu que le calice paraît quelque peu déformé) 14.4 mm.

L'échantillon a été trouvé dans un complexe de schistes argileux et argilomarneux gris foncé, affleurant sur la rive droite de l'Ousva, sur son cours supérieur, à 1.5 km en aval de l'embouchure de la rivière Bérésovka. Ce complexe, qui appartient au Silurien inférieur, a environ 500 m de puissance; le fossile y a été rencontré à peu près au milieu, par conséquent non dans le bas du Silurien inférieur, semble-t-il, ce qui concorde avec les données dont on disposait jusqu'à ce jour, selon lesquelles *Crylocrinus* est répandu dans la partie supérieure du Silurien inférieur; c'est pourquoi on pourrait peut-être regarder comme la limite inférieure de celle-ci l'horizon à *Corylocrinus* ou même faire passer cette limite encore plus bas.

Institut Géologique de l'USSR.
Leningrad.

Manuscrit reçu
le 14. IV. 1940.

LITTÉRATURE CITÉE

[1] Н. Яковлев, Палеонт. и стратигр. сб., № 3 (1937). [2] O. Jaekel, Stammesgeschichte der Pelmatozoen (1899).

Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS
1940. Volume XXVIII, № 8

PALEONTOLOGY

ON SOME PSAMMOSTEIDS FROM THE LENINGRAD AND BALTIC MIDDLE DEVONIAN

By D. V. OBRUCHEV

(Communicated by A. A. Borissiak, Member of the Academy, 29. VI. 1940)

Owing to the poor preservation of their remains, the Psammosteids are as yet very imperfectly known. Some results of my investigations may contribute to the elucidation of their structure and systematics.

Genus *Schizosteus* nov. gen.

In 1933, Gross (1) pointed out that there are no data, whether *Psammolepis gigantea*, *striata*, *heterolepis* and *imperfecta* possess tesserae on median plates: «Species without tesserae belong rather to *Pycnosteus* or to a separate genus». Now, having better material at my disposal, I can erect this new genus, including some of the mentioned species: *striata*, *imperfecta*, perhaps *heterolepis*, as well as *splendens* (Eichwald) and *asatkini* n. sp. (type species).

The diagnostic features are: absence of tesserae, arched ventral plate with a deep notch on the hind margin reaching the centre of ossification, flat dorsal plate, long and narrow branchials, closely set dentine tubercles.

Schizosteus striatus (Gross, 1933)

The ventral plate is elongated, 12 cm long, 9 cm wide (Fig. 1,*b*), the hind notch occupies nearly half its length. The tubercles are hat-like, with a flat brim, the crown inclined backwards. The branchial is long and narrow, its dorsal surface with flat elongated tubercles, confluent into long ridges running parallel to the medial border, the tubercles of the ventral surface like those of the ventral plate.

Upper part of the Narova beds (D. m. 2) and the base of the Luga beds (D. m. 3). Rivers Luga, Lemovzha; Gatchina; r. Gorodenka, Estonia (Gross).

Schizosteus asatkini n. sp.

Type species. Holotype: ventral, dorsal, and hind part of branchial in almost natural position (Paleontological Institute, Moscow). The ventral plate (Fig. 1,*c*) is nearly circular, 9.5 cm long, 9 cm wide. The ossification centre is distant 3 cm from the hind border, the hind notch being correspondingly short. The dorsal plate (Fig. 2) is wider (11 cm) than long (9 cm). The partly visible sensory canals are situated like those in *Drepana-*

spis [cf. Gross (2), pl. 4, Fig. 1]. The branchial plate is narrow, 3.5 cm wide at the hind end. The tubercles are dome-shaped, rounded.

Lower part of the Luga beds (D. m. 3), Luga river.

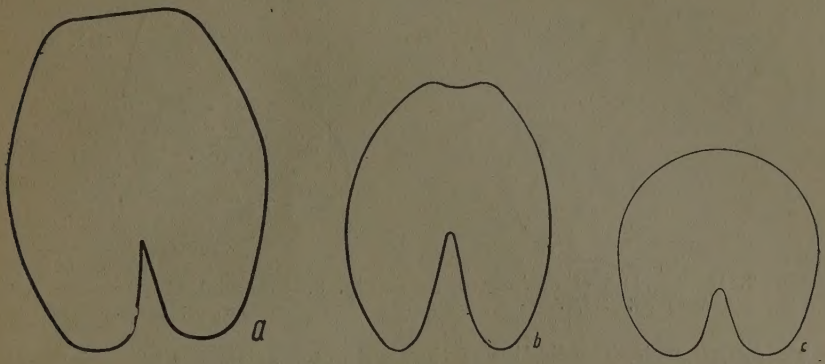


Fig. 1. Ventral plates of: *a*, *Drepanaspis gemündenensis*; *b*, *Schizosteus striatus*; *c*, *Sch. asatkini*; *d*, *Pycnosteus palaeformis*; ×1/3.

Schizosteus (?) *splendens* (Eichwald, 1844)

Different fragments of this species were described by Eichwald (3,4) under the names of *Cheirolepis splendens*, *unilateralis*, *uragus*, *Microlepis lepidus*, *exilis*, *Psammosteus undulatus* Ag. A large form, the dorsal (?) plate attaining 24 cm in width. The tubercles are slightly convex, often triangular fan-shaped, with short denticles, on the branchials and scales diamond-shaped. The form of the median and branchial plates is unknown. The species is referred to *Schizosteus* owing to its lack of tesserae.

Narova beds (D. m. 2), Slavyanka river.

Schizosteus (?) *imperfectus*
(Preobrazhensky, 1911)

Described as *Psammosteus* (5), this species is tentatively referred by Gross (1) to *Pycnosteus*. A large form, the ventral plate up to 32 cm in width; the hind notch is very deep, its borders are lined with massive spongiosa. Besides the type specimen, no more material is as yet known.

Luga beds (D. m. 3), Tartu, Estonia (Gross).

Remarks on *Schizosteus*. The new genus is among the Psammosteids most closely allied to *Drepanaspis*. As pointed out by Gross (2), the branchials of *Drepanaspis lipperti* and *Psammolepis* (=*Schizosteus*) *striata* are very similar. The ventral plate of *Drepanaspis gemündenensis* has, like that of *Schizosteus*, a deep notch on the hind margin (Fig. 1, *a*) which was overlooked by all previous authors, and presence of which I was able to state from the specimens of the Mining Museum, Leningrad, as well as from some of Traquair's photographs [(6), pl. II, IV: (7), pl. I]. *Psammosteus* (*Ganosteus*) *perneri*

Ružička from the upper part of the Middle Devonian of Bohemia ([5]) belongs also to the same group. Perhaps, when we shall dispose of more complete material, we shall be compelled to unite all of these species, or some of them,

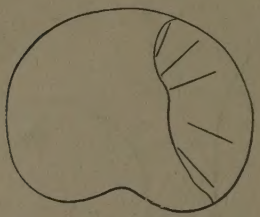


Fig. 2. Dorsal plate of *Schizosteus asatkini*; ×1/3.

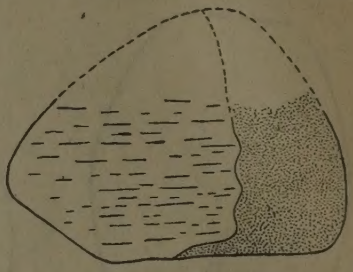


Fig. 3. Branchial of *Pycnosteus palaeformis*; ×1/6.

with *Drepanaspis*. The finding of the hind notch of ventral plates in *Drepanaspis* and *Schizosteus* narrows the gap between them and *Pycnosteus*, with its peculiar ventral plate (Fig. 1,*d*). The latter has, however, branchials of quite another form (Fig. 3), even more short and wide than in *Psammolepis*.

Genus *Pycnosteus* Preobrazhensky

This genus is characterized by the form of the ventral (Fig. 1, *d*) and branchial (Fig. 3) plates, as well as by large, high tubercles, not so densely set as in *Psammolepis* or *Schizosteus*. The type species is *P. palaeformis*, described by Preobrazhensky from Tartu. To this genus belongs also *Ganosteus tuberculatus* Rohon (the form with even-sized tubercles), while the other form, with large tubercles surrounded by small ones, was called by Rohon ([5]) *G. stellatus*, which name must be maintained for the type species of *Ganosteus*, erroneously called by Gross([1]) *G. tuberculatus*.

Pycnosteus palaeformis Preobrazhensky, 1911

The ventral and branchial plates are the only elements known till to-day. The tubercles are high, 1 mm in diameter, with short simple denticles; they do not touch one another.

Lower part of the Luga beds (D. m. 3). Rivers Oredezh, Luga, Lemovzha, Saba, Borovenka; Tartu (Estonia).

Pycnosteus tuberculatus (Rohon, 1901)

Only fragments known. Tubercles like those in *Ganosteus stellatus*, but smaller and even-sized. They are 1.5 mm in diameter, with long dichotomizing denticles (rays), by which they touch one another.

Upper part of the Luga beds (D. m. 3). River Yoglina; lake Burtneck, river Aa (Latvia).

Paleontological Institute.
Academy of Sciences of the USSR.

Received
29. VI. 1940.

REFERENCES

[1] W. Gross, Palaeontographica, **79**, Abt. A (1933). [2] W. Gross, Abh. Preuss. Geol. Landesanst., N. F., 154 (1933). [3] E. Eichwald, Bull. Soc. Natur. Moscow, **17** (1844), **19** (1846). [4] E. Eichwald, Lethaea Rossica, **1** (1860). [5] И. А. Преображенский, Прот. общ. ест. Юрьевск. ун-та, **19**, вып. 3, 4 (1911). [6] R. Traquair, Trans. Roy. Soc., Edinburgh, 40 (1903). [7] R. Traquair, ibid., 41 (1905). [8] R. Ružička, Věstnik Stát. Geolog. ústavu Československ. Rep., **5**, Pt. 2—3 (1929). [9] V. Rohon, Sitzber. böhm. Ges. Wiss., Mat.-naturw. Classe (1901).

PRIX D'ABONNEMENT

Un an — 36 livraisons . . . . $ 15.00. Frs. fr. 250.00. £ 2.8.0
Six mois — 18 livraisons . . . $ 7.50. Frs. fr. 125.00. £ 1.4.0
(Séparément $ 0.50. Frs. fr. 8.00. £ 0.1.6 le numéro)

URSS — MEZHDUNARODNAJA KNIGA, 18, Kuznetskij Most, Moscou (Compte courant n° 263 Banque d'Etat de l'URSS, 12, Neglinnaja, Moscou).

ENGLAND — W. H. SMITH & son, Ltd. Strand House, Portugal Str. London W. C. 2.
COLLET'S Bookshop Ltd., 66, Charing Cross Road, London W. C. 2.

SUISSE — Buchhandlung STAUFFACHER (Genossenschaft). Hauptpost-Fach 43. Zürich.

CECHIA — MELANTRICH, Akc. Spol. Knihkupectvi — odd. slovanských knih. Václavské nám 42. Praha II. (Účet pošt. spoř. 20. 208).

BELGIQUE — OBLA (Office Belge Littéraire et Artistique). 6/8/10, rue Duquesnoy. Bruxelles.

TURQUIE — LIBRAIRIE HACHETTE. Succursale de Turquie. 469, Avenue de l'Indépendance. Boîte Postale Péra 2219. Istanbul.

DEUTSCHLAND — KOEHLER & VOLCKMAR, A/G. Russland-Abteilung. Postfac 173. Leipzig C. I.

PALESTINE — SAFRAN CO. Jaffa Rd. 36. P. O. B. 223. Haifa.

SVERIGE — C. E. FRITZE's Kgl. Hofbuchhandlung. Fredsgatan 2, Stockholm.
A. B. WENNERCRENS WILLIAMS Box 657, Stockholm I.

AUSTRALIA — MODERN PUBLISHERS Ltd., 312. Rawson Chambers, Pitt street Sydney.

BULGARIA — T. F. TSCHIPEFF. Buchhandlung Boulevard Dondoukoff 20/22 Sofia (Postscheckkonto-Sofia 540).

NORGE — JOHAN GRUNDT TANUM. Tidligere Aschehougs Boghandel. Karl Johans gt. 43. Oslo.

ROMANIA — Biroul Central de Presa «LUVRU». Strada Danielopol 1, Bucuresti I.

DÄNEMARK — S. U. V.'s Boghandel. Frederiksborggade 42[1] Kopenhagen. K.

NEDERLAND — Boekhandel everij «Nieuwe Cultuur», Valeriusstraat 76, bw. Amsterdam 7.

CHINA — Fleet's Book Store 798, Avenue Joffre, Schanghai.

Les «Comptes Rendus», largement expediés à l'étranger dans les centres scientifiques les plus importants et dans les bureaux de nombreuses revues, sont le seul organe scientifique en URSS, donnant tous les dix jours un compte rendu des plus récentes acquisitions de la science soviétique.

PUBLISHING HOUSE OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR

JOURNAL OF PHYSICS

Edited by S. I. WAWILOW, Member of the Academy of Sciences.
Editorial Secretary: Prof. S. M. RYTOV, D. Sc.

Journal of Physics deals with problems of theoretical and applied physics.

Journal of Physics is published in English, French and German.

Journal of Physics appears monthly; it is issued in two volumes per annum, 6 numbers per volume.

Subscription price: U. S. $ 8.00 per annum. $ 1.00 single copy.

Orders to be placed with:

USSR — «Mezhdunarodnaja Kniga», Moscow, Kuznetski Most, 18 (Current Account No. 263, State Bank of the USSR, Moscow, Neglinnaya, 12).

NORTH a. SOUTH AMERICA — Bookniga Incorporated — 255 Fifth Avenue, New York, USA.

AUSTRALIA — Modern Publishers PTY, Ltd., 312 Rawson Chambers, Pitt Street, Sydney.

BELGIQUE — «Obla» (Office Belge Littéraire et Artistique), 6/8/10, rue Duquesnoy, Bruxelles.

BULGARIA — «Ruska Kniga», ul. kn. Boris, 2, Sofia. T. F. Tschipeff, Boulevard Dondoukoff, 20/22, Sofia.

CHINA — Fleet's Book Store, 798 Avenue Joffre, Shanghai.

DÄNEMARK — S.U.V's Boghandel. Frederiksborggade, 42¹. Kφbenhavn.

DEUTSCHLAND — Koehler & Volckmar A.-G., Russland-Abteilung. Postfach 173, Leipzig C. 1.

GREAT BRITAIN — W. H. Smith & Son, Ltd., Strand House, Portugal Street, London, W. C. 2.
Collet's Bookshop, Ltd., 66 Charing Cross Road, London W.C2.

NEDERLAND — «Nieuwe Cultuur», Valeriusstraat, 76 bv., Amsterdam.

NORGE — Johan Grundt Tanum, Karl Johans gt., 43. Oslo. Narvesens ioskkompani, Stortingsgaten, 2, Oslo.

PALESTINE — «Safran» Co., Binyan Aziz Khayat, P. O. Box 223, Haifa. Anna Wiener, 3 Har-Sinai, Tel-Aviv.

ROMANIA — «Louvre», Strada Danielopol, 1, Bucuresti.

SCHWEIZ — Buchhandlung Stauffacher, Lutherstrasse 6, Zürich.

SVERIGE — C. E. Fritze's Kgl. Hofbuchhandlung, Fredsgatan 2, Stockholm Wennergren-Williams A.-B. Box 657, Stockholm.

TÜRKIA — Librairie Hachette, 468 Avenue de l'Indépendance, Boîte postale Péra 2219, Istanbul.

EDITORIAL OFFICE:

Moscow, 47, 3rd Miusskaya Ulitsa, No. 3, Physical Institute of the Academy of Sciences of the USSR.